П. И. Мальцовъ.

СПРАВОЧНАЯ КНИГА
для
ИНЖЕНЕРОВЪ, МЕХАНИКОВЪ И СТРОИТЕЛЕЙ.

Изданіе второе, вполнѣ переработанное.

ВЪ 4-хъ ЧАСТЯХЪ.

Болѣе 3000 рис. въ текстѣ и 48 таблицъ.

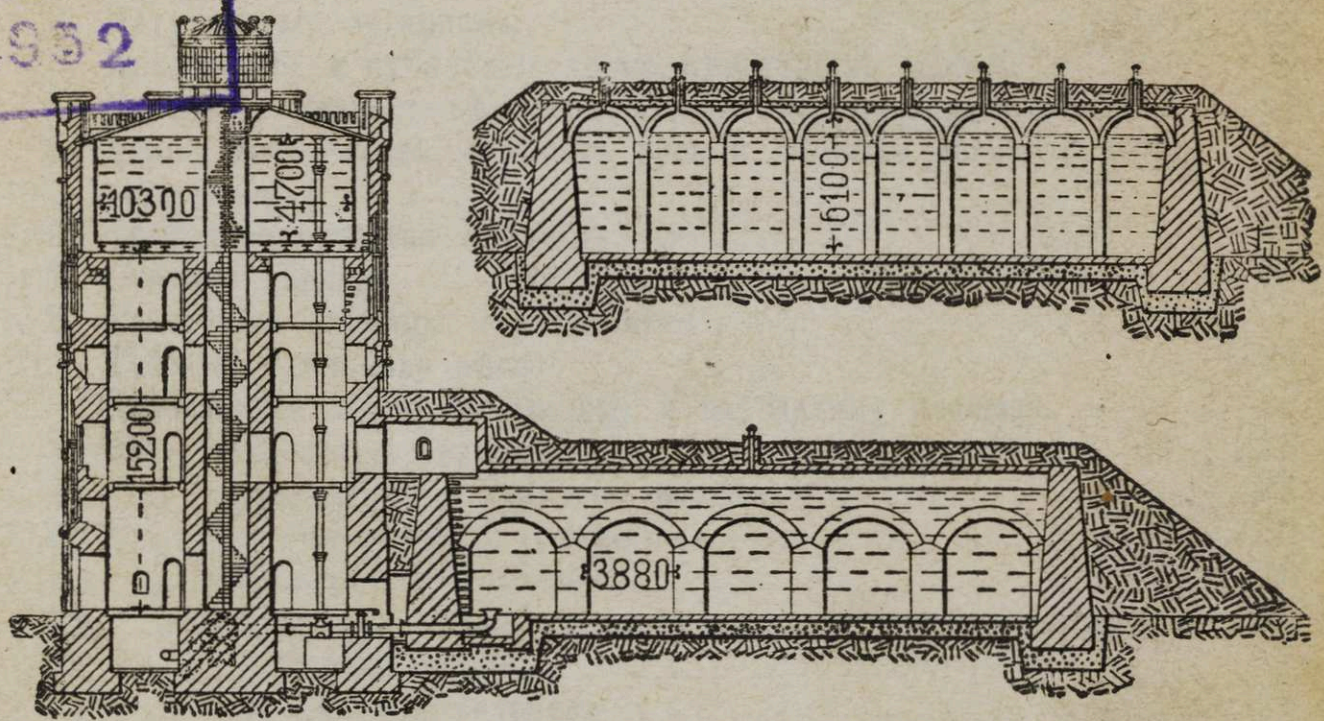
Р 12478
Провер. 1933
П I 2
М237

Часть I.

ОБЩАЯ МЕХАНИКА.

Математика. Механика. Гидравлика. Отопленіе. Вентиляція. Освѣщеніе. Пожарное дѣло.

ПРОВЕРЕНО 1952



Съ 759 рис. въ текстѣ и 6 таблицъ.

МОСКОВСКОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХН. УЧИЛИЩЕ БИБЛИОТЕКА

МОСКВА.
Типографія А. Гатцука, Никитскій бул., собств. домъ.
1890.

ПРОВЕРЕНО 1946

ОГЛАВЛЕНІЕ ПЕРВОЙ ЧАСТИ.

Глава первая.

I. Математика.

A. Таблицы.

Стр.

1. Таблица степеней, корней, обратныхъ величинъ, бригговыхъ логариѳмовъ, окружностей и площадей круга. 1
2. Натуральные логариѳмы. 19
3. Квадратные и кубическіе корни нѣкоторыхъ дробей. 20
4. Числовыя значенія нѣкоторыхъ часто встрѣчающихся величинъ. 21
5. Длины дугъ, хордъ, стрѣлокъ дугъ и площади сегментовъ при радіусѣ=1 22
6. Тригонометрическая таблица. 24
7. Счетная линейка. 26
8. Различныя таблицы мѣръ и вѣса 27

Таблица удѣльнаго вѣса. 28

Давленія на погонную единицу и на единицу площади. . . . 28

1) Вѣсъ полосоваго желѣза. 28
2) „ квадратнаго и круглаго желѣза. 29
3) „ равносторонняго угловаго —„— 29
4) „ металлическихъ листовъ. 30
5) „ желѣзныхъ, мѣдныхъ, латунныхъ и свинцовыхъ трубъ . 30
6) „ чугунныхъ шаровъ. 31
7) „ Превращеніе уклоновъ 32

I. Сравнительныя таблицы линейныхъ мѣръ. 32
II. „ „ квадратныхъ „ 33
III. „ „ кубическихъ „ 34
IV. „ „ торговыхъ вѣсовъ 35
V. „ „ аптекарскихъ „ 35

Переводъ обыкновенныхъ и десятичныхъ долей дюйма въ миллиметры 36

Вѣсъ кубическаго фута и кубическаго дюйма разныхъ металловъ и воды. 36

B. Алгебра.

I. Основныя правила.

		Стр.
1.	Сложеніе и вычитаніе	37
2.	Умноженіе	—
3.	Дѣленіе	38
4.	Дроби	39
5.	Возведеніе въ степень	40
6.	Извлеченіе корней	41
7.	Вычисленіе логариѳмовъ	46

II. Уравненія.

8.	Основныя правила для рѣшенія уравненій	48
9.	Пропорціи	49
10.	Уравненія первой степени со многими неизвѣстными	50
11.	Квадратныя уравненія	51

III. Ряды.

12.	Биномный рядъ	53
13.	Ариѳметическій рядъ перваго порядка	54
14.	Сумма первыхъ, вторыхъ и т. д. степеней натуральныхъ чиселъ	55
15.	Геометрическая прогрессія	—
16.	Рядъ показателя степени	56
17.	Вычисленіе процентовъ на проценты	—
18.	Вычисленіе срочныхъ вкладовъ и уплатъ	—

C. Геометрія.

I Планиметрія.

19.	Геометрическое черченіе	58
20.	Формулы круга	70
21.	Площади прямолинейныхъ фигуръ	74
22.	„ криволинейныхъ „	76

II. Тригонометрія.

23.	Тригонометрическія функціи угла	79
24.	Тригонометрическія функціи двухъ угловъ	82
25.	Употребленіе тригонометрическихъ таблицъ	83
26.	Рѣшеніе прямоугольныхъ треугольниковъ	84
27.	Рѣшеніе косоугольныхъ „	85
28.	Примѣненіе формулъ	86

III. Стереометрія.

Стр.
29. Объемы тѣлъ, ограниченныхъ плоскостями. 87
30. Поверхности тѣлъ, ограниченныхъ криволинейно. 89
31. Объемы тѣлъ, ограниченныхъ кривыми поверхностями. . . . 90
32. Общая формула для вычисленія объемовъ тѣлъ. 92
33. О геометрическихъ отношеніяхъ. 93

Глава вторая.

II. Механика.

A. Общая механика.

34. Общія понятія. 95

I. Движеніе, разсматриваемое какъ явленіе.

35. Движеніе и покой—абсолютные и относительные. 96
36. Различные роды движенія 97
37. Простое движеніе. . . . . —
Таблица высотъ паденія и конечныхъ скоростей отъ 0 до 30 м. 102
38. Составное движеніе. 103

II. Причины и сопротивленія движенія.

39. Главные законы движенія 108
40. Изученіе силъ. 109
41. О сложеніи и разложеніи силъ 113
42. Условія равновѣсія матеріальной точки. 115

B. Механика системы матеріальныхъ точекъ.

43. Система точекъ. 116
44. Начало возможныхъ перемѣщеній 117
45. О силахъ параллельныхъ. 120
46. Пара силъ. 122
47. Сила и пара силъ . . . . . „
48. Общее приведеніе произвольной системы силъ. . . . . „
49. Общія уравненія равновѣсія произвольной системы силъ. . . —
50. О равновѣсіи параллельныхъ силъ. 123
51. Центръ тяжести. . . . . —
52. Центры тяжести важнѣйшихъ линій и площадей 125
53. Центръ тяжести тѣлъ. 127
54. О механической работѣ . . . . . —
55. Начало живыхъ силъ 134
56. Живая сила вращающагося тѣла. Отнесеніе его массы. . . . 141

Стр.

57. Сопротивленія движенія 148
58. Скользящее треніе 149
Таблица коеффиціентовъ тренія. 151
59. Катящееся треніе. 161
60. Полезная работа. Работа потерянная. Полезное дѣйствіе. . . 163
61. Простыя машины. 164
I. Рычагъ 165
II. Блоки a) неподвижный 167
b) подвижной 168
c) сложный 169
d) полиспастъ. . . . . —
e) дифференціальный 171
III. Воротъ. 172
IV. Наклонная плоскость 175
V. Клинъ 177
VI. Винтъ 179
VII. Безконечный винтъ. 182
59. Равновѣсіе тяжелаго подпертаго тѣла. 186
Устойчивость. Степень устойчивости. . . . . —
Примѣры на опредѣленіе момента устойчивости 187
71. О силахъ мгновенныхъ и объ измѣреніи ихъ. 189
72. Прямой центральный ударъ двухъ тѣлъ. . . . . —
73. Косой ударъ. 194

C. Упругость и крѣпость матеріаловъ.

74. Упругость, предѣлъ упругости 197
Таблица коеффиціентовъ упругости и крѣпости для различныхъ матеріаловъ . . . . . 202 и 203
75. Упругость и крѣпость растяженія и сжатія 205
76. „ „ скалыванія и срѣзыванія 210
77. „ „ сгибанія. 211
Таблица моментовъ инерціи и сопротивленія для разныхъ сѣченій . . . . . 218 и 219
Таблицы вѣса, моментовъ инерціи и моментовъ сопротивленія нормальныхъ типовъ прокатнаго желѣза . . . . . 221 до 226
Таблица разныхъ случаевъ сгибанія брусьевъ. . . . . 227 и 228
Таблица для брусьевъ, укрѣпленныхъ однимъ концомъ. . . . 229
Таблица для балокъ, свободно лежащихъ на двухъ подставкахъ. 233
78. Расчетъ склепанныхъ желѣзныхъ балокъ 234
79. Упругость и крѣпость крученія. 245
80. Сложныя упругость и крѣпость. 249
Таблица коеффиціентовъ прочности 250
Таблица крѣпости отламыванія 253
81. Упругость и крѣпость сосудовъ и днищъ. 256
82. Крѣпость пружинъ 260
Таблица для расчета плоскихъ пружинъ. . . . . —
„ „ винтовыхъ и спиральныхъ пружинъ. 262 и 263
83. Крѣпость работы. . . . . —

D. Повѣрка прочности сооруженій.

Стр.
84. Усиленныя деревянныя балки. 265
85. Подкосныя и подвѣсныя шпренгельныя системы 266
86. Металлическія стропила 267
87. Стойки изъ угловаго и тавроваго желѣза. 271
88. Желѣзныя постройки 272

Глава третья.

III. Гидравлика.

A. Механика жидкихъ тѣлъ.

89. Существенное свойство жидкаго тѣла. 277

1. Гидростатика.

90. Законъ равенства давленій. . . . . —
91. Измѣненіе закона равенства давленій въ случаѣ вѣсомыхъ жидкостей. 279
92. Поверхность жидкаго тѣла. . . . . —
93. Давленіе воды, подверженной дѣйствію тяжести. 280
94. Центръ давленія 282
95. Тѣла, погруженныя въ жидкость . . . . . —
96. Устойчивость плавающихъ тѣлъ. . . . . —

2. Гидродинамика.

97. Предположенія, на которыхъ основывается теорія движенія жидкостей. 283
98. Высота давленія или напоръ . . . . . —
99. Теоретическія величины скорости истеченія и истекающаго количества жидкости при постоянномъ давленіи. 284
100. Количество вытекающей жидкости при постоянномъ напорѣ. . 286
101. Истеченіе черезъ отверстіе въ вертикальной стѣнкѣ. 287
Таблица коэффиціентовъ расхода воды по Понсле и Лебро . . 288
102. Коэффиціенты расхода при истеченіи черезъ отверстія съ приставными руслами. 291
Таблица расхода воды по Арманго. 293
103. Опредѣленіе расхода воды по таблицѣ Арманго. 294
104. Количество воды, протекающее черезъ совершенный водосливъ. 295
105. О стокѣ воды черезъ несовершенный водосливъ. 299
106. Истеченіе воды изъ отверстій съ насадными трубками . . . —
107. Коэффиціенты сопротивленія 301
108. Гидравлическое давленіе 302
109. Движеніе воды въ цилиндрическихъ трубахъ. 1) Потеря напора отъ тренія 303

Стр.

Таблицы для вычисленія потери напора по Прони. . . 307 до 325
Таблицы для расчета водопроводовъ по Дарси и Брессу. . . . 327
Таблица для расчета трубныхъ водопроводовъ по Леви. . . . 330
Потеря напора отъ измѣненія направленія водопровода. . . . 334
Таблица высотъ потери напора въ трубахъ по Дарси Базену для старыхъ трубъ . . . . . 336 и 337
110. Передача силы гидравлическимъ способомъ. 339
Таблица полезнаго дѣйствія гидравлической передачи 344
111. Построеніе водопроводныхъ трубъ 346
112. Опыты надъ новѣйшими способами уплотненія и соединенія трубъ. 347
113. Соединеніе трубъ для необыкновенныхъ случаевъ. 348
114. Желѣзные водопроводы 349
115. Правила для укладки водопроводныхъ трубъ 350
116. Движеніе воды въ рѣкахъ и каналахъ 351
Таблица вѣса въ фунтахъ погоннаго фута чугунныхъ трубъ. . 352
Таблица для расчета вѣса въ фунтахъ погоннаго фута металлическихъ трубъ 353
117. Способы опредѣленія расхода воды. 362
Таблица расхода воды черезъ водосливъ шириною въ 1 м. . 365
118. Ударъ воды 367
119. Ударъ неограниченной массы воды. 368
120. Водоснабженіе A) Предварительныя изысканія 369
B) Сборка и очистка воды. 373
C) Проведеніе и раздача воды. 379
D) Описаніе существующихъ устройствъ 388
Водомѣры. 391
E) Канализація. 394
121. Потеря напора въ пожарныхъ рукавахъ. 396
122. Потеря напора при движеніи водяной струи въ воздухѣ . . . 398
123. Таблица для опредѣленія давленія у основанія брандспойта. . 400
124. Вспомогательныя работы при водяныхъ сооруженіяхъ. . . . 401
125. Способы устройства основаній. 404
Устройство основаній при помощи замораживанія грунта. . . 408
126. Устройство резервуаровъ. 411
Резервуаръ высокаго давленія или аккумюлаторы. 421
Водонапорныя башни по способу Монье. 424

B. Механика упругихъ жидкостей.

I. Аэростатика.

127. Основные законы 425
128. Свойства упругихъ жидкостей . . . . . —
129. Объ атмосферномъ давленіи и объ измѣреніи его . . . . . —
130. Различные способы обозначенія давленія 426
131. Манометры. 427
132. О пустотѣ. 430

Стр.
133. Сифонъ. 431
134. Измѣреніе высотъ помощію барометра . . . . . —
135. Высота поднятія воздушнаго шара 432
136. Удѣльный вѣсъ газовъ . . . . . —
137. Законъ Дальтона. 433
138. Законъ Маріотта. . . . . —
139. Законъ Гей-Люссака 437
140. Законъ Гей-Люссака-Маріотта. 438
141. Удѣльный объемъ газа. . . . . —
142. Законъ Пуассона 439
143. Сравненіе изотермы и адіабаты 440
144. Нагрѣваніе воздуха при сжатіи . . . . . —
145. Расходъ работы при сжатіи воздуха безъ отведенія теплоты. . 441
146. Работа, какую газъ производитъ при расширеніи 442
147. Охлажденіе сжатаго воздуха вслѣдствіе отдаванія силы . . . 443
148. Числовая величина охлажденія при расширеніи сжатаго воздуха . —
149. Таблица для расчета воздушныхъ компрессаторовъ 445
150. Передача силы посредствомъ сгущеннаго воздуха 446
151. Построенныя передачи силы посредствомъ воздуха. 467

II. Аэродинамика.

152. Истеченіе постояннаго газа изъ отверстія резервуара. . . . 473
153. Истеченіе воздуха при разности давленій отъ 0 до 1,4 атм. . 474
154. Движеніе воздуха въ трубахъ. 475
155. Движущая сила вѣтра 479

C. Теплота.

Общія формулы и таблицы.

156. Расширеніе тѣлъ отъ теплоты. 481
157. Измѣреніе температуры 484
158. Измѣреніе теплоты 486
159. Измѣненіе состоянія тѣлъ. 488
160. Термодинамика или механическая теорія теплоты. 490
161. Передача теплоты черезъ стѣнку. 493
162. Предварительныя свѣдѣнія о водяныхъ парахъ 496
163. Насыщающій и перегрѣтый водяной паръ. 497
164. Количество теплоты для образованія насыщающаго пара. . . 499
165. Вѣсъ 1 куб. метра пара 503
166. Теплота влажнаго пара. . . . . —
167. Теплота перегрѣтаго пара. 504
168. Содержаніе воды во влажномъ парѣ . . . . . —
169. Количество пара на 1 килограммъ топлива. . . . . —
170. Измѣненіе количества пара при расширеніи и сжатіи. . . . 505
171. Давленіе пара во время расширенія и сжатія 506

Стр.
172. Расширеніе водянаго пара. 506
173. Скорость теченія пара 507
Таблица для насыщающихъ водяныхъ паровъ по Цейнеру . . 508
Таблица упругости водянаго пара по Реньо 509
174. Гигрометрія и сушеніе 511
175. Воздушный холодильникъ 518

Глава четвертая.

А. Отопленіе.

176. Опредѣленіе потребнаго количества теплоты 521
177. Мѣстное или комнатное отопленіе 522
178. Конструкція печей 523
179. Центральное отопленіе 1) Отопленіе каналами 527
2) Отопленіе калориферами 528
3) Конструкція калориферовъ. . . . 530
4) Водяное отопленіе 534
5) Паровое отопленіе 542
6) Сложное отопленіе 545

В. Вентиляція.

180. Свойства атмосфернаго воздуха 547
181. Устройство вентиляціи 1) Разные способы 552
2) Приводныя и отводныя отверстія. . 553
3) Практическое устройство отверстій . 555
4) Вентиляція вытяжными каналами. . 557
5) Вентиляція посредствомъ вдуванія. . 559
182. Отопленіе въ соединеніи съ вентиляціею 561
183. Этажная печь Мишеля Перре 569
184. Увлажненіе воздуха 570
185. Вентиляція помѣщеній, наполненныхъ водянымъ паромъ . . . 572
186. Вентиляціонныя приспособленія Тенбринка. . . . . —
187. Освѣщеніе рабочихъ помѣщеній. 573
188. Проэкты пароваго отопленія. . . . . —
189. Приборы для спуска осѣвшей воды 576
190. Вентили для уменьшенія давленія пара 580
191. Паровое отопленіе для группы зданій и частей города. . . . 582

С. Освѣщеніе.

192. Освѣтительные матеріалы. 584
193. Свѣтильный газъ изъ каменнаго угля. . . . . —
194. Свѣтильный газъ изъ нефтяныхъ остатковъ 588
195. Освѣщеніе желѣзнодорожныхъ вагоновъ 591
196. Газопроводныя трубы 592

Стр.
197. Приборъ Гирцеля для добыванія газа 593
198. Приборъ Годге для малаго производства . . . . . —
199. Освѣщеніе смѣшаннымъ газомъ. 594
200. Воздушный газъ и альбокарбоновый газъ. . . . . —
201. Отношеніе между освѣтительными матеріалами 595
202. Условія наибольшей силы свѣченія газоваго пламени 596
203. Измѣреніе освѣтительной силы пламени (фотометрія) . . . 597
204. Устройство горѣлки съ самодѣйствующимъ регуляторомъ . . 599
205. Регенеративныя горѣлки и ихъ устройство 600
206. Устройство и принципъ газовыхъ лампъ накаливанія 605
207. Употребленіе газа для вентиляціи и освѣщенія 608
208. Вентиляція теплотою, выдѣляемою газовымъ пламенемъ. . . 610
209. Употребленіе газа въ видѣ топлива для кухни. 613
210. Устройство горѣлокъ, употребляющихся для отопленія. . . . 614
211. Общее замѣчаніе о газовыхъ приборахъ для отопленія . . . 615
212. Газовые часы или газомѣры. . . . . —
213. Сѣть трубъ 616
214. Перечень горѣлокъ. 622
215. Газъ какъ движущая сила (машины Отто, Делямара и др.). . 624
Таблица желѣзныхъ трубъ 625
Нормальныя фигурныя части для чугунныхъ трубъ 626
Керосиновая машина Шпиля. 630
216. Парокеросиновый двигатель Квильфельда. 635
217. Двигатель Пти и Будено 638
218. Водяной газъ. . . . . —
Приборъ Шульца, Кнаудта и К° 643
Приборъ Барса и Лаланса 650
219. Электричество и его примѣненія. 652
220. Машины динамо-электрическія или динамо-машины. 661
221. Передача работы помощію электричества. 666
222. Электрическое освѣщеніе. . . . . —
223. Сравнительная стоимость разнаго рода освѣщенія. 669
224. Гигіена освѣщенія . . . . . —
225. Новые освѣтительные приборы, сожигающіе пульверизованный керосинъ 670
226. Приспособленія для устраненія пожара 671
227. Землемѣрное искусство и нивелировка 680
228. Размѣры земнаго шара по Бесселю 684
229. Греческая азбука . . . . . .
230. Прядильное и ткацкое производство . . . . . .

Таблицы абсолютнаго вѣса тѣлъ.

231. Абсолютный вѣсъ тѣлъ 692
232. Таблицы абсолютнаго вѣса тѣлъ:
1) Вѣсъ куб. саж. строительныхъ матеріаловъ 693
2) Сравнительный вѣсъ разныхъ тѣлъ . . . . . —

			Стр.
3)	Вѣсъ	(плотность) важнѣйшихъ тѣлъ и газовъ	694
4)	„	металлическихъ листовъ	695
5)	„	англійской жести, встрѣчаемой въ торговлѣ . . .	—
6)	„	металлическихъ листовъ и проволоки по бирмингам. мѣркѣ.	696
7)	„	листовой красной мѣди, встрѣчаемой въ торговлѣ .	—
8)	„	полосоваго желѣза	697
9)	„	четырехграннаго желѣза, мѣди и латуни	698
10)	„	круглаго желѣза, мѣди и латуни	699
11)	„	шиннаго „	700
12)	„	угловаго „	—
13)	„	тавроваго „	701
14)	„	двутавроваго „	—
15)	„	чугунныхъ шаровъ	—
16)	„	желѣзныхъ заклепокъ	702
17)	„	желѣзныхъ гвоздей для строительныхъ работъ . .	—

1. МАТЕМАТИКА.

A. Таблицы.

1. Квадраты, кубы, квадратные и кубическіе корни, обратныя величины, логарифмы, окружности и площади круговъ.

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
0	0	0	0,0000	0,0000	∞	$-\infty$	**0,0**	0,000	0,0000
1	1	1	1,0000	1,0000	1,00000	0,0000	0,1	0,314	0,0079
2	4	8	1,4142	1,2599	0,50000	0,3010	2	0,628	0,0314
3	9	27	1,7321	1,4422	0,33333	0,4771	3	0,942	0,0707
4	16	64	2,0000	1,5874	0,25000	0,6021	4	1,257	0,1257
5	25	125	2,2361	1,7100	0,20000	0,6989	**5**	1,571	0,1964
6	36	216	2,4495	1 8171	0,16667	0,7781	6	1,885	0,2827
7	49	343	2,6458	1,9129	0,14286	0,8451	7	2,199	0,3848
8	64	512	2,8284	2,0000	0,12500	0,9031	8	2,513	0,5026
9	81	729	3,0000	2,0801	0,11111	0,9542	9	2,827	0,6362
10	100	1000	3,1623	2,1544	0,10000	1,0000	**1,0**	3,142	0,7854
11	121	1331	3,3166	2,2240	0,09091	1,0414	1	3,456	0,9503
12	144	1728	3,4641	2,2894	0,08333	1,0792	2	3,770	1,1310
13	169	2197	3,6056	2,3513	0,07692	1,1139	3	4,084	1,3273
14	196	2744	3,7417	2,4101	0,07143	1,1461	4	4,398	1,5394
15	225	3375	3,8730	2,4662	0,06667	1,1761	**5**	4,712	1,7671
16	256	4096	4,0000	2,5198	0,06250	1,2041	6	5,027	2,0106
17	289	4913	4,1231	2,5713	0,05882	1,2304	7	5,341	2,2698
18	324	5832	4,2426	2,6207	0,05556	1,2553	8	5,655	2,5447
19	361	6859	4,3589	2,6684	0,05263	1,2788	9	5,969	2,8353
20	400	8000	4,4721	2,7144	0,05000	1,3010	**2,0**	6,283	3,1416
21	441	9261	4,5826	2,7589	0,04762	1,3222	1	6,597	3,4636
22	484	10648	4,6904	2,8020	0,04545	1,3424	2	6,912	3,8013
23	529	12167	4,7958	2,8439	0,04348	1,3617	3	7,226	4,1548
24	576	13824	4,8990	2,8845	0,04167	1,3802	4	7,540	4,5239
25	625	15625	5,0000	2,9240	0,04000	1,3979	**5**	7,854	4,9087
26	676	17576	5,0990	2,9625	0,03846	1,4150	6	8,168	5,3093
27	729	19683	5,1962	3,0000	0,03704	1,4314	7	8,482	5,7256
28	784	21952	5,2915	3,0366	0,03571	1,4472	8	8,796	6,1575
29	841	24389	5,3852	3,0723	0,03448	1,4624	9	9,111	6,6052
30	900	27000	5,4772	3,1072	0,03333	1 4771	**3,0**	9,425	7,0686
31	961	29791	5,5678	3,1414	0,03226	1,4914	1	9,739	7,5477
32	1024	32768	5,6569	3,1748	0,03125	1,5052	2	10,05	8,0425
33	1089	35937	5,7446	3,2075	0,03030	1,5185	3	10,37	8,5530
34	1156	39304	5,8310	3,2396	0,02941	1,5315	4	10,68	9,0792
35	1225	42875	5,9161	3,2711	0,02857	1,5441	**5**	11,00	9,6211
36	1296	46656	6,0000	3,3019	0,02778	1,5563	6	11,31	10,1790
37	1369	50653	6,0828	3,3322	0,02703	1,5682	7	11,62	10,752
38	1444	54872	6,1644	3,3620	0,02632	1,5798	8	11,94	11,341
39	1521	59319	6,2450	3,3912	0,02564	1,5911	9	12,25	11,946
40	1600	64000	6,3246	3,4200	0,02500	1,6021	**4,0**	12,57	12,566
41	1681	68921	6,4031	3,4482	0,02439	1,6128	1	12,88	13,203
42	1764	74088	6,4807	3,4760	0,02381	1,6232	2	13,19	13,854
43	1849	79507	6,5574	3,5034	0,02326	1,6335	3	13,51	14,522
44	1936	85184	6,6332	3,5303	0,02273	1,6435	4	13,82	15,205
45	2025	91125	6,7082	3,5569	0,02222	1,6532	**5**	14,14	15,904

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
46	2116	97336	6,7823	3,5830	0,02174	1,6628	6	14,45	16,619
47	2209	103823	6,8557	3,6088	0,02128	1,6721	7	14,77	17,349
48	2304	110592	6,9282	3,6342	0,02083	1,6812	8	15,08	18,096
49	2401	117649	7,0000	3,6593	0,02041	1,6902	9	15,39	18.857
50	2500	125000	7,0711	3,6840	0,02000	1,6990	**5,0**	15,71	19,635
51	2601	132651	7,1414	3,7084	0,01961	1,7076	1	16,02	20,428
52	2704	140608	7,2111	3,7325	0,01923	1,7160	2	16,34	21,237
53	2809	148877	7,2801	3,7563	0,01887	1,7243	3	16,65	22,062
54	2916	157464	7,3485	3,7798	0,01852	1,7324	4	16,96	22,902
55	3025	166375	7,4162	3,8030	0,01818	1,7404	5	17,28	23,758
56	3136	175616	7,4833	3,8259	0,01786	1,7482	6	17,59	24,630
57	3249	185193	7,5498	3,8485	0,01754	1,7559	7	17,91	25,518
58	3364	195112	7,6158	3,8709	0,01724	1,7634	8	18,22	26,421
59	3481	205379	7,6811	3,8930	0,01695	1,7709	9	18,54	27,340
60	3600	216000	7,7460	3,9149	0,01667	1,7782	**6,0**	18,85	28,274
61	3721	226981	7,8102	3,9365	0,01639	1,7853	1	19,16	29,225
62	3844	238328	7 8740	3,9579	0,01613	1,7924	2	19,48	30,191
63	3969	250047	7,9373	3,9791	0,01587	1,7993	3	19,79	31,172
64	4096	262144	8,0000	4,0000	0,01563	1,8062	4	20,11	32,170
65	4225	274625	8,0623	4,0207	0,01538	1,8129	5	20,42	33,183
66	4356	287496	8,1240	4,0412	0,01515	1,8195	6	20,73	34,212
67	4489	300763	8,1854	4,0615	0,01493	1,8261	7	21,05	35,257
68	4624	314432	8,2462	4,0817	0,01471	1,8325	8	21,36	36,317
69	4761	328509	8,3066	4,1016	0,01449	1,8388	9	21,68	37,393
70	4900	343000	8,3666	4,1213	0,01429	1,8451	**7,0**	21,99	38,485
71	5041	357911	8,4261	4,1408	0,01408	1,8513	1	22,31	39,592
72	5184	373248	8,4853	4,1602	0,01389	1,8573	2	22,62	40,715
73	5329	389017	8,5440	4,1793	0,01370	1,8633	3	22,93	41,854
74	5476	405224	8,6023	4,1983	0,01351	1,8692	4	23,25	43,008
75	5625	421875	8,6603	4,2172	0,01333	1,8751	5	23,56	44,179
76	5776	438976	8,7178	4,2358	0,01316	1,8808	6	23,88	45,365
77	5929	456533	8,7750	4,2543	0,01299	1,8865	7	24,19	46,566
78	6084	474552	8,8318	4,2727	0,01282	1,8921	8	24,50	47,784
79	6241	493039	8,8882	4,2908	0,01266	1,8976	9	24,82	49,017
80	6400	512000	8,9443	4,3089	0,01250	1,9031	**8,0**	25,13	50,266
81	6561	531441	9,0000	4,3267	0.01235	1,9085	1	25,45	51,530
82	6724	551368	9,0554	4,3445	0,01220	1,9138	2	25,76	52,810
83	6889	571787	9,1104	4,3621	0,01205	1,9191	3	26,08	54,106
84	7056	592704	9,1652	4,3795	0,01190	1,9243	4	26,39	55,418
85	7225	614125	9,2195	4,3968	0,01176	1,9294	5	26,70	56,745
86	7396	636056	9,2736	4,4140	0,01163	1,9345	6	27,02	58,088
87	7569	658503	9,3274	4,4310	0,01149	1,9395	7	27,33	59,447
88	7744	681472	9,3808	4,4480	0,01136	1,9445	8	27,65	60,821
89	7921	704969	9,4340	4 4647	0,01124	1,9494	9	27,96	62,211
90	8100	729000	9,4868	4,4814	0,01111	1,9542	**9,0**	28,27	63,617
91	8281	753571	9,5394	4,4979	0,01099	1,9590	1	28,59	65,039
92	8464	778688	9,5917	4,5144	0,01087	1,9638	2	28,90	66,476
93	8649	804357	9,6437	4,5307	0,01075	1,9685	3	29,22	67,929
94	8836	830584	9,6954	4,5468	0,01064	1,9731	4	29,53	69,398
95	9025	857375	9,7468	4,5629	0,01053	1,9777	5	29,85	70,882
96	9216	884736	9,7980	4,5789	0,01042	1,9823	6	30,16	72,382
97	9409	912673	9,8489	4,5947	0,01031	1,9868	7	30,47	73,898
98	9604	941192	9,8995	4,6104	0,01020	1,9912	8	30,79	75,430
99	9801	970299	9,9499	4,6261	0,01010	1,9956	9	31,10	76,977
100	10000	1000000	10,0000	4,6416	0,01000	2,0000	**10,0**	31,42	78,540

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
101	10201	1030301	10,0499	4,6570	0,00990	2,0043	1	31,73	80,119
102	10404	1061208	10,0995	4,6723	0,00980	2,0086	2	32,04	81,713
103	10609	1092727	10,1489	4,6875	0,00971	2,0128	3	32,36	83,323
104	10816	1124864	10,1980	4,7027	0,00962	2,0170	4	32,67	84,949
105	11025	1157625	10,2470	4,7177	0,00952	2,0212	**5**	32,99	86,590
106	11236	1191016	10,2956	4,7326	0,00943	2,0253	6	33,30	88,247
107	11449	1225043	10,3441	4,7475	0,00935	2,0294	7	33,62	89,920
108	11664	1259712	10,3923	4,7622	0,00926	2,0334	8	33,93	91,609
109	11881	1295029	10,4403	4,7769	0,00917	2,0374	9	34,24	93,313
110	12100	1331000	10,4881	4,7914	0,00909	2,0414	**11,0**	34,56	95,033
111	12321	1367631	10,5357	4,8059	0,00901	2,0453	1	34,87	96,769
112	12544	1404928	10,5830	4,8203	0,00893	2,0492	2	35,19	98,520
113	12769	1442897	10,6301	4,8346	0,00885	2,0531	3	35,50	100,287
114	12996	1481544	10,6771	4,8488	0,00877	2,0569	4	35,81	102,070
115	13225	1520875	10,7238	4,8629	0,00870	2,0607	**5**	36,13	103,869
116	13456	1560896	10,7703	4,8770	0,00862	2,0645	6	36,44	105,683
117	13689	1601613	10,8167	4,8910	0,00855	2,0682	7	36,76	107,513
118	13924	1643032	10,8628	4,9049	0,00847	2,0719	8	37,07	109,359
119	14161	1685159	10,9087	4,9187	0,00840	2,0755	9	37,38	111,220
120	14400	1728000	10,9545	4,9324	0,00833	2,0792	**12,0**	37,70	113,097
121	14641	1771561	11,0000	4,9461	0,00826	2,0828	1	38,01	114,990
122	14884	1815848	11,0454	4,9597	0,00820	2,0864	2	38,33	116,899
123	15129	1860867	11,0905	4,9732	0,00813	2,0899	3	38,64	118,823
124	15376	1906624	11,1355	4,9866	0,00806	2,0934	4	38,96	120,763
125	15625	1953125	11,1803	5,0000	0,00800	2,0969	**5**	39,27	122,718
126	15876	2000376	11,2250	5,0133	0,00794	2,1004	6	39,58	124,690
127	16129	2048383	11,2694	5,0265	0,00787	2,1038	7	39,90	126,677
128	16384	2097152	11,3137	5,0397	0,00781	2,1072	8	40,21	128,680
129	16641	2146689	11,3578	5,0528	0,00775	2,1106	9	40,53	130,698
130	16900	2197000	11,4018	5,0658	0,00769	2,1139	**13,0**	40,84	132,733
131	17161	2248091	11,4455	5,0788	0,00763	2,1173	1	41,15	134,782
132	17424	2299968	11,4891	5,0916	0,00758	2,1206	2	41,47	136,848
133	17689	2352637	11,5326	5,1045	0,00752	2,1239	3	41,78	138,929
134	17956	2406104	11,5758	5,1172	0,00746	2,1271	4	42,10	141,026
135	18225	2460375	11,6190	5,1299	0,00741	2,1303	**5**	42,41	143,139
136	18496	2515456	11,6619	5,1426	0,00735	2,1335	6	42,73	145,267
137	18769	2571353	11,7047	5,1551	0,00730	2,1367	7	43,04	147,412
138	19044	2628072	11,7473	5,1676	0,00725	2,1399	8	43,35	149,572
139	19321	2685619	11,7898	5,1801	0,00719	2,1430	9	43,67	151,747
140	19600	2744000	11,8322	5,1925	0,00714	2,1461	**14,0**	43,98	153,938
141	19881	2803221	11,8743	5,2048	0,00709	2,1492	1	44,30	156,145
142	20164	2863288	11,9164	5,2171	0,00704	2,1523	2	44,61	158,368
143	20449	2924207	11,9583	5,2293	0,00699	2,1553	3	44,92	160,606
144	20736	2985984	12,0000	5,2415	0,00694	2,1584	4	45,24	162,860
145	21025	3048625	12,0416	5,2536	0,00690	2,1614	**5**	45,55	165,130
146	21316	3112136	12,0830	5,2656	0,00685	2,1644	6	45,87	167,415
147	21609	3176523	12,1244	5,2776	0,00680	2,1673	7	46,18	169,717
148	21904	3241792	12,1655	5,2896	0,00676	2,1703	8	46,50	172,034
149	22201	3307949	12,2066	5,3015	0,00671	2,1732	9	46,81	174,367
150	22500	3375000	12,2474	5,3133	0,00667	2,1761	**15,0**	47,12	176,715
151	22801	3442951	12,2882	5,3251	0,00662	2,1790	1	47,44	179,079
152	23104	3511808	12,3288	5,3368	0,00658	2,1818	2	47,75	181,459
153	23409	3581577	12,3693	5,3485	0,00654	2,1847	3	48,07	183,854
154	23716	3652264	12,4097	5,3601	0,00649	2,1875	4	48,38	186,265
155	24025	3723875	12,4499	5,3717	0,00645	2,1903	**5**	48,69	188,692

n	n^2	n^5	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
156	24336	3796416	12,4900	5,3832	0,00641	2,1931	6	49,01	191,13
157	24649	3869893	12,5300	5,3947	0,00637	2,1959	7	49,32	193,59
158	24964	3944312	12,5698	5,4061	0,00633	2,1987	8	49,64	196,07
159	25281	4019679	12,6095	5,4175	0,00629	2,2014	9	49,95	198,56
160	25600	4096000	12,6491	5,4288	0,00625	2,2041	**16,0**	50,27	201,06
161	25921	4173281	12,6886	5,4401	0,00621	2,2068	1	50,58	203,58
162	26244	4251528	12,7279	5,4514	0,00617	2,2095	2	50,89	206,12
163	26569	4330747	12,7671	5,4626	0,00613	2,2122	3	51,21	208,67
164	26896	4410944	12,8062	5,4737	0,00610	2,2148	4	51,52	211,24
165	27225	4492125	12,8452	5,4848	0,00606	2,2175	5	51,84	213,82
166	27556	4574296	12,8841	5,4959	0,00602	2,2201	6	52,15	216,42
167	27889	4657463	12,9228	5,5069	0,00599	2,2227	7	52,46	219,04
168	28224	4741632	12,9615	5,5178	0,00595	2,2253	8	52,78	221,67
169	28561	4826809	13,0000	5,5288	0,00592	2,2279	9	53,09	224,32
170	28900	4913000	13,0384	5,5397	0,00588	2,2304	**17,0**	53,41	226,98
171	29241	5000211	13,0767	5,5505	0,00585	2,2330	1	53,72	229,66
172	29584	5088448	13,1149	5,5613	0,00581	2,2355	2	54,04	232,35
173	29929	5177717	13,1529	5,5721	0,00578	2,2380	3	54,35	235,06
174	30276	5268024	13,1909	5,5828	0,00575	2,2405	4	54,66	237,79
175	30625	5359375	13,2288	5,5934	0,00571	2,2430	5	54,98	240,53
176	30976	5451776	13,2665	5,6041	0,00568	2,2455	6	55,29	243,28
177	31329	5545233	13,3041	5,6147	0,00565	2,2480	7	55,61	246,06
178	31684	5639752	13,3417	5,6252	0,00562	2,2504	8	55,92	248,85
179	32041	5735339	13,3791	5,6357	0,00559	2,2528	9	56,23	251,65
180	32400	5832000	13,4164	5,6462	0,00556	2,2553	**18,0**	56,55	254,47
181	32761	5929741	13,4536	5,6567	0,00552	2,2577	1	56,86	257,30
182	33124	6028568	13,4907	5,6671	0,00549	2,2601	2	57,18	260,16
183	33489	6128487	13,5277	5,6774	0,00546	2,2625	3	57,49	263,02
184	33856	6229504	13,5647	5,6877	0,00543	2,2648	4	57,81	265,90
185	34225	6331625	13,6015	5,6980	0,00541	2,2672	5	58,12	268,80
186	34596	6434856	13,6382	5,7083	0,00538	2,2695	6	58,43	271,72
187	34969	6539203	13,6748	5,7185	0,00535	2,2718	7	58,75	274,65
188	35344	6644672	13,7113	5,7287	0,00532	2,2742	8	59,06	277,59
189	35721	6751269	13,7477	5 7388	0,00529	2,2765	9	59,38	280,55
190	36100	6859000	13,7840	5,7489	0,00526	2,2788	**19,0**	59,69	283,53
191	36481	6967871	13,8203	5,7590	0,00524	2,2810	1	60,00	286,52
192	36864	7077888	13,8564	5,7690	0,00521	2,2833	2	60,32	289,53
193	37249	7189057	13,8924	5,7790	0,00518	2,2856	3	60,63	292,55
194	37636	7301384	13,9284	5,7890	0,00515	2,2878	4	60,95	295,59
195	38025	7414875	13,9642	5,7989	0,00513	2,2900	5	61,26	298,65
196	38416	7529536	14,0000	5,8088	0,00510	2,2923	6	61,58	301,72
197	38809	7645373	14,0357	5,8186	0,00508	2,2945	7	61,89	304,81
198	39204	7762392	14,0712	5,8285	0,00505	2,2967	8	62,20	307,91
199	39601	7880599	14,1067	5,8383	0,00503	2,2989	9	62,52	311,03
200	40000	8000000	14,1421	5,8480	0,00500	2,3010	**20,0**	62,83	314,16
201	40401	8120601	14,1774	5,8578	0,00498	2,3032	1	63,15	317,31
202	40804	8242408	14,2127	5,8675	0,00495	2,3053	2	63,46	320,47
203	41209	8365427	14,2478	5,8771	0,00493	2,3075	3	63,77	323,65
204	41616	8489664	14,2829	5,3868	0,00490	2,3096	4	64,09	326,85
205	42025	8615125	14,3178	5,8964	0,00488	2,3117	5	64,40	330,06
206	42436	8741816	14,3527	5,9059	0,00485	2,3139	6	64,72	333,29
207	42849	8869743	14,3875	5,9155	0,00483	2,3160	7	65,03	336,54
208	43264	8998912	14,4222	5,9250	0,00481	2,3181	8	65,35	339,79
209	43681	9129329	14,4568	5,9345	0,00478	2,3202	9	65,66	343,07
210	44100	9261000	14,4914	5,9439	0,00476	2,3222	**21,0**	65,97	346,36

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
211	44521	9393931	14,5258	5,9533	0,00474	2,3243	1	66,29	349,67
212	44944	9528128	14,5602	5,9627	0,00472	2,3263	2	66,60	352,99
213	45369	9663597	14,5945	5,9721	0,00469	2,3284	3	66,92	356,33
214	45796	9800344	14,6287	5,9814	0,00467	2,3304	4	67,23	359,68
215	46225	9938375	14,6629	5,9907	0,00465	2,3324	**5**	67,54	363,05
216	46656	10077696	14,6969	6,0000	0,00463	2,3344	6	67,86	366,44
217	47089	10218313	14,7309	6,0092	0,00461	2,3365	7	68,17	369,84
218	47524	10360232	14,7648	6,0185	0,00459	2,3385	8	68,49	373,25
219	47961	10503459	14,7986	6,0277	0,00457	2,3404	9	68,80	376,68
220	48400	10648000	14,8324	6,0368	0,00455	2,3424	**22,0**	69,12	380,13
221	48841	10793861	14,8661	6,0459	0,00452	2,3444	1	69,43	383,60
222	49284	10941048	14,8997	6,0550	0,00450	2,3464	2	69,74	387,08
223	49729	11089567	14,9332	6,0641	0,00448	2,3483	3	70,60	390,57
224	50176	11239424	14,9666	6,0732	0,00446	2,3502	4	70,37	394,08
225	50625	11390625	15,0000	6,0822	0,00444	2,3522	**5**	70,69	397,61
226	51076	11543176	15,0333	6,0912	0,00442	2,3541	6	71,00	401,15
227	51529	11697083	15,0665	6,1002	0,00441	2,3560	7	71,31	404,71
228	51984	11852352	15,0997	6,1091	0,00439	2,3579	8	71,63	408,28
229	52441	12008989	15,1327	6,1180	0,00437	2,3598	9	71,94	411,87
230	52900	12167000	15,1658	6,1269	0,00435	2,3617	**23,0**	72,26	415,48
231	53361	12326391	15,1987	6,1358	0,00433	2,3636	**1**	72,57	419,10
232	53824	12487168	15,2315	6,1446	0,00431	2,3655	**2**	72,88	422,73
233	54289	12649337	15,2643	6,1534	0,00429	2,3674	**3**	73,20	426,38
234	54756	12812904	15,2971	6,1622	0,00427	2,3692	4	73,51	430,05
235	55225	12977875	15,3297	6,1710	0,00426	2,3711	**5**	73,83	433,74
236	55696	13144256	15,3623	6,1797	0,00424	2,3729	6	74,14	437,44
237	56169	13312053	15,3948	6,1885	0,00422	2,3748	7	74,46	441,15
238	56644	13481272	15,4272	6,1972	0,00420	2,3766	8	74,77	444,88
239	57121	13651919	15,4596	6,2058	0,00418	2,3784	9	75,08	448,63
240	57600	13824000	15,4919	6,2145	0,00417	2,3802	**24,0**	75,40	452,39
241	58081	13997521	15,5242	6,2231	0,00415	2,3820	1	75,71	456,17
242	58564	14172488	15,5563	6,2317	0,00413	2,3838	2	76,03	459,96
243	59049	14348907	15,5885	6,2403	0,00412	2,3856	3	76,34	463,77
244	59536	14526784	15,6205	6,2488	0,00410	2,3874	4	76,65	467,59
245	60025	14706125	15,6525	6,2573	0,00408	2,3892	**5**	76,97	471,44
246	60516	14886936	15,6844	6,2658	0,00407	2,3909	6	77,28	475,29
247	61009	15069223	15,7162	6,2743	0,00405	2,3927	7	77,60	479,16
248	61504	15252992	15,7480	6,2828	0,00403	2,3945	8	77,91	483,05
249	62001	15438249	15,7797	6,2912	0,00402	2,3962	9	78,23	486,95
250	62500	15625000	15,8114	6,2996	0,00400	2,3979	**25,0**	78,54	490,87
251	63001	15813251	15,8430	6,3080	0,00398	2,3997	1	78,85	494,81
252	63504	16003008	15,8745	6,3164	0,00397	2,4014	2	79,17	498,76
253	64009	16194277	15,9060	6,3247	0,00395	2,4031	3	79,48	502,73
254	64516	16387064	15,9374	6,3330	0,00394	2,4048	4	79,80	506,71
255	65025	16581375	15,9687	6,3413	0,00392	2,4065	**5**	80,11	510,71
256	65536	16777216	16,0000	6,3496	0,00391	2,4082	6	80,42	514,72
257	66049	16974593	16,0312	6,3579	0,00389	2,4099	7	80,74	518,75
258	66564	17173512	16,0624	6,3661	0,00388	2,4116	8	81,05	522,79
259	67081	17373979	16,0935	6,3743	0,00386	2,4133	9	81,37	526,85
260	67600	17576000	16,1245	6,3825	0,00385	2,4150	**26,0**	81,68	530,93
261	68121	17779581	16,1555	6,3907	0,00383	2,4166	1	82,00	535,02
262	68644	17984728	16,1864	6,3988	0,00382	2,4183	2	82,31	539,13
263	69169	18191447	16,2173	6,4070	0,00380	2,4200	3	82,62	543,25
264	69696	18399744	16,2481	6,4151	0,00379	2,4216	4	82,94	547,39
265	70225	18609625	16,2788	6,4232	0,00377	2,4233	**5**	83,25	551,55

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
266	70756	18821096	16,3095	6,4312	0,00376	2,4249	6	83,57	555,72
267	71289	19034163	16,3401	6,4393	0,00375	2,4265	7	83,88	559,90
268	71824	19248832	16,3707	6,4473	0,00373	2,4281	8	84,19	564,10
269	72361	19465109	16,4012	6,4553	0,00372	2,4298	9	84,51	568,32
270	72900	19683000	16,4317	6,4633	0,00370	2,4314	**27,0**	84,82	572,56
271	73441	19902511	16,4621	6,4713	0,00369	2,4330	1	85,14	576,80
272	73984	20123648	16,4924	6,4792	0,00368	2,4346	2	85,45	581,07
273	74529	20346417	16,5227	6,4872	0,00366	2,4362	3	85,77	585,35
274	75076	20570824	16,5529	6,4951	0,00365	2,4378	4	86,08	589,65
275	75625	20796875	16,5831	6,5030	0,00364	2,4393	5	86,39	593,96
276	76176	21024576	16,6132	6,5108	0,00362	2,4409	6	86,71	598,28
277	76729	21253933	16,6433	6,5187	0,00361	2,4425	7	87,02	602,63
278	77284	21484952	16,6733	6,5265	0,00360	2,4440	8	87,34	606,99
279	77841	21717639	16,7033	6,5343	0,00358	2,4456	9	87,65	611,36
280	78400	21952000	16,7332	6,5421	0,00357	2,4472	**28,0**	87,96	615,75
281	78961	22188041	16,7631	6,5499	0,00356	2,4487	1	88,28	620,16
282	79524	22425768	16,7929	6,5577	0,00355	2,4503	2	88,59	624,58
283	80089	22665187	16,8226	6,5654	0,00353	2,4518	3	88,91	629,02
284	80656	22906304	16,8523	6,5731	0,00352	2,4533	4	89,22	633,47
285	81225	23149125	16,8819	6,5808	0,00351	2,4548	5	89,54	637,94
286	81796	23393656	16,9115	6,5885	0,00350	2,4564	6	89,85	642,42
287	82369	23639903	16,9411	6,5962	0,00348	2,4579	7	90,16	646,92
288	82944	23887872	16,9706	6,6039	0,00347	2,4594	8	90,48	651,44
289	83521	24137569	17,0000	6,6115	0,00346	2,4609	9	90,79	655,97
290	84100	24389000	17,0294	6,6191	0,00345	2,4624	**29,0**	91,11	660,52
291	84681	24642171	17,0587	6,6267	0,00344	2,4639	1	91,42	665,08
292	85264	24897088	17,0880	6,6343	0,00342	2,4654	2	91,73	669,66
293	85849	25153757	17,1172	6,6419	0,00341	2,4669	3	92,05	674,26
294	86436	25412184	17,1464	6,6494	0,00340	2,4684	4	92,36	678,87
295	87025	25672375	17,1756	6,6569	0,00339	2,4698	5	92,68	683,49
296	87616	25934336	17,2047	6,6644	0,00338	2,4713	6	92,99	688,13
297	88209	26198073	17,2337	6,6719	0,00337	2,4728	7	93,31	692,79
298	88804	26463592	17,2627	6,6794	0,00336	2,4742	8	93,62	697,47
299	89401	26730899	17,2916	6,6869	0,00334	2,4757	9	93,93	702,15
300	90000	27000000	17,3205	6,6943	0,00333	2,4771	**30,0**	94,25	706,86
301	90601	27270901	17,3494	6,7018	0,00332	2,4786	1	94,56	711,58
302	91204	27543608	17,3781	6,7092	0,00331	2,4800	2	94,88	716,31
303	91809	27818127	17,4069	6,7166	0,00330	2,4814	3	95,19	721,07
304	92416	28094464	17,4356	6,7240	0,00329	2,4829	4	95,50	725,83
305	93025	28372625	17,4642	6,7313	0,00328	2,4843	5	95,82	730,62
306	93636	28652616	17,4929	6,7387	0,00327	2,4857	6	96,13	735,42
307	94249	28934443	17,5214	6,7460	0,00326	2,4871	7	96,45	740,23
308	94864	29218112	17,5499	6,7533	0,00325	2,4886	8	96,76	745,06
309	95481	29503629	17,5784	6,7606	0,00324	2,4900	9	97,08	749,91
310	96100	29791000	17,6068	6,7679	0,00323	2,4914	**31,0**	97,39	754,77
311	96721	30080231	17,6352	6,7752	0,00322	2,4928	1	97,70	759,64
312	97344	30371328	17,6635	6,7824	0,00321	2,4942	2	98,02	764,54
313	97969	30664297	17,6918	6,7897	0,00139	2,4955	3	98,33	769,45
314	98596	30959144	17,7200	6,7969	0,00318	2,4969	4	98,65	774,37
315	99225	31255875	17,7482	6,8041	0,00317	2,4983	5	98,96	779,31
316	99856	31554496	17,7764	6,8113	0,00316	2,4997	6	99,27	784,27
317	100489	31855013	17,8045	6,8185	0,00315	2,5011	7	99,59	789,24
318	101124	32157432	17,8326	6,8256	0,00314	2,5024	8	99,90	794,23
319	101761	32461759	17,8606	6,8328	0,00313	2,5038	9	100,22	799,23
320	102400	32768000	17,8885	6,8399	0,00313	2,5052	**32,0**	100,53	804,25

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
321	103041	33076161	17,9165	6,8470	0,00312	2,5065	1	100,8	809,28
322	103684	33386248	17,9444	6,8541	0,00311	2,5079	2	101,2	814,33
323	104329	33698267	17,9722	6,8612	0,00310	2,5092	3	101,5	819,40
324	104976	34012224	18,0000	6,8683	0,00309	2,5106	4	101,8	824,48
325	105625	34328125	18,0278	6,8753	0,00308	2,5119	5	102,1	829,58
326	106276	34645976	18,0555	6,8824	0,00307	2,5132	6	102,4	834,69
327	106929	34965783	18,0831	6,8894	0,00306	2,5145	7	102,7	839,82
328	107584	35287552	18,1108	6,8964	0,00305	2,5159	8	103,0	844,96
329	108241	35611289	18,1384	6,9034	0,00304	2,5172	9	103,4	850,12
330	108900	35937000	18,1659	6,9104	0,00303	2,5185	**33,0**	103,7	855,30
331	109561	36264691	18,1934	6,9174	0,00302	2,5198	1	104,0	860,49
332	110224	36594368	18,2209	6,9244	0,00301	2,5211	2	104,3	865,70
333	110889	36926037	18,2483	6,9313	0,00300	2,5224	3	104,6	870,92
334	111556	37259704	18,2757	6,9382	0,00299	2,5238	4	104,9	876,16
335	112225	37595375	18,3030	6,9451	0,00299	2,5250	5	105,2	881,41
336	112896	37933056	18,3303	6,9521	0 00298	2,5263	6	105,6	886,68
337	113569	38272753	18,3576	6,9589	0,00297	2,5276	7	105,9	891,97
338	114244	38614472	18,3848	6,9658	0,00296	2,5289	8	106,2	897,27
339	114921	38958219	18,4120	6,9727	0,00295	2,5302	9	106,5	902,59
340	115600	39304000	18,4391	6,9795	0,00294	2,5315	**34,0**	106,8	907,92
341	116281	39651821	18,4662	6,9864	0,00293	2,5328	1	107,1	913,27
342	116964	40001688	18,4932	6,9932	0,00292	2,5340	2	107,4	918,63
343	117649	40353607	18,5203	7,0000	0,00292	2,5353	3	107,8	924,01
344	118336	40707584	18,5472	7,0068	0,00291	2,5366	4	108,1	929,41
345	119025	41063625	18,5742	7,0136	0,00290	2,5378	5	108,4	934,82
346	119716	41421736	18,6011	7,0203	0,00289	2,5391	6	108,7	940,25
347	120409	41781923	18,6279	7,0271	0,00288	2,5403	7	109,0	945,69
348	121104	42144192	18,6548	7,0338	0,00287	2,5416	8	109,3	951,15
349	121801	42508549	18,6815	7,0406	0,00287	2,5428	9	109,6	956,62
350	122500	42875000	18,7083	7,0473	0,00286	2,5441	**35,0**	110,0	962,11
351	123201	43243551	18,7350	7,0540	0,00285	2,5453	1	110,3	967,62
352	123904	43614208	18,7617	7,0607	0,00284	2,5465	2	110,6	973,14
353	124609	43986977	18,7883	7,0674	0,00283	2,5478	3	110,9	978,68
354	125316	44361864	18,8149	7,0740	0,00282	2,5490	4	111,2	984,23
355	126025	44738875	18,8414	7,0807	0,00282	2,5502	5	111,5	989,80
356	126736	45118016	18,8680	7,0873	0,00281	2,5515	6	111,8	995,38
357	127449	45499293	18,8944	7,0940	0,00280	2,5527	7	112,2	1000,98
358	128164	45882712	18,9209	7,1006	0,00279	2,5539	8	112,5	1006,60
359	128881	46268279	18,9473	7,1072	0,00279	2,5551	9	112,8	1012,23
360	129600	46656000	18,9737	7,1138	0,00278	2,5563	**36,0**	113,1	1017,87
361	130321	47045881	19,0000	7,1204	0,00277	2,5575	1	113,4	1023,54
362	131044	47437928	19,0263	7,1269	0 00276	2,5587	2	113,7	1029,22
363	131769	47832147	19,0526	7,1335	0,00275	2,5599	3	114,0	1034,91
364	132496	48228544	19,0788	7,1400	0,00275	2,5611	4	114,4	1040,62
365	133225	48627125	19,1050	7,1466	0,00274	2,5623	5	114,7	1046,35
366	133956	49027896	19,1311	7,1531	0,00273	2,5635	6	115,0	1052,09
367	134689	49430863	19,1572	7,1596	0,00272	2,5647	7	115,3	1057,85
368	135424	49836032	19,1833	7,1661	0,00272	2,5659	8	115,6	1063,62
369	136161	50243409	19,2094	7,1726	0,00271	2,5670	9	115,9	1069,41
370	136900	50653000	19,2354	7,1791	0,00270	2,5682	**37,0**	116,2	1075,21
371	137641	51064811	19,2614	7,1855	0,00270	2,5694	1	116,6	1081,03
372	138384	51478848	19,2873	7,1920	0,00269	2,5705	2	116,9	1086,87
373	139129	51895117	19,3132	7,1984	0,00268	2,5717	3	117,2	1092,72
374	139876	52313624	19,3391	7,2048	0,00267	2,5729	4	117,5	1098,58
375	140625	52734375	19,3649	7,2112	0,00267	2,5740	5	117,8	1104,47

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
376	141376	53157376	19,3907	7,2177	0,00266	2,5752	6	118,1	1110,4
377	142129	53582633	19,4165	7,2240	0,00265	2,5763	7	118,4	1116,3
378	142884	54010152	19,4422	7,2304	0,00265	2,5775	8	118,8	1122,2
379	143641	54439939	19,4679	7,2368	0,00264	2,5786	9	119,1	1128,1
380	144400	54872000	19,4936	7,2432	0,00263	2,5798	**38,0**	119,4	1134,1
381	145161	55306341	19,5192	7,2495	0,00262	2,5809	1	119,7	1140,1
382	145924	55742968	19,5448	7,2558	0,00262	2,5821	2	120,0	1146,1
383	146689	56181887	19,5704	7,2622	0,00261	2,5832	3	120,3	1152,1
384	147456	56623104	19,5959	7,2685	0,00260	2,5843	4	120,6	1158,1
385	148225	57066625	19,6214	7,2748	0,00260	2,5855	5	121,0	1164,2
386	148996	57512456	19,6469	7,2811	0,00259	2,5866	6	121,3	1170,2
387	149769	57960603	19,6723	7,2874	0,00258	2,5877	7	121,6	1176,3
388	150544	58411072	19,6977	7,2936	0,00258	2,5888	8	121,9	1182,4
389	151321	58863869	19,7231	7,2999	0,00257	2,5899	9	122,2	1188,5
390	152100	59319000	19,7484	7,3061	0,00256	2,5911	**39,0**	122,5	1194,6
391	152881	59776471	19,7737	7,3124	0,00256	2,5922	1	122,8	1200,7
392	153664	60236288	19,7990	7,3186	0,00255	2,5933	2	123,2	1206,9
393	154449	60698457	19,8242	7,3248	0,00254	2,5944	3	123,5	1213,0
394	155236	61162984	19,8494	7,3310	0,00254	2,5955	4	123,8	1219,2
395	156025	61629875	19,8746	7,3372	0,00253	2,5966	5	124,1	1225,4
396	156816	62099136	19,8997	7,3434	0,00253	2,5977	6	124,4	1231,6
397	157609	62570773	19,9249	7,3496	0,00252	2,5988	7	124,7	1237,9
398	158404	63044792	19,9499	7,3558	0,00251	2,5999	8	125,0	1244,1
399	159201	63521199	19,9750	7,3619	0,00251	2,6010	9	125,3	1250,4
400	160000	64000000	20,0000	7,3681	0,00250	2,6021	**40,0**	125,7	1256,6
401	160801	64481201	20,0250	7,3742	0,00249	2,6031	1	126,0	1262,9
402	161604	64964808	20,0499	7,3803	0,00249	2,6042	2	126,3	1269,2
403	162409	65450827	20,0749	7,3864	0,00248	2,6053	3	126,6	1275,6
404	163216	65939264	20,0998	7,3925	0,00248	2,6064	4	126,9	1281,9
405	164025	66430125	20,1246	7,3986	0,00247	2,6075	5	127,2	1288,2
406	164836	66923416	20,1494	7,4047	0,00246	2,6085	6	127,5	1294,6
407	165649	67419143	20,1742	7,4108	0,00246	2,6096	7	127,9	1301,0
408	166464	67917312	20,1990	7,4169	0,00245	2,6107	8	128,2	1307,4
409	167281	68417929	20,2237	7,4229	0,00244	2,6117	9	128,5	1313,8
410	168100	68921000	20,2485	7,4290	0,00244	2,6128	**41,0**	128,8	1320,3
411	168921	69426531	20,2731	7,4350	0,00243	2,6138	1	129,1	1326,7
412	169744	69934528	20,2978	7,4410	0,00243	2,6149	2	129,4	1333,2
413	170569	70444997	20,3224	7,4470	0,00242	2,6160	3	129,7	1339,6
414	171396	70957944	20,3470	7,4530	0,00242	2,6170	4	130,1	1346,1
415	172225	71473375	20,3715	7,4590	0,00241	2,6181	5	130,4	1352,7
416	173056	71991296	20,3961	7,4650	0,00240	2,6191	6	130,7	1359,2
417	173889	72511713	20,4206	7,4710	0,00240	2,6201	7	131,0	1365,7
418	174724	73034632	20,4450	7,4770	0,00239	2,6212	8	131,3	1372,3
419	175561	73560059	20,4695	7,4829	0,00239	2,6222	9	131,6	1378,9
420	176400	74088000	20,4939	7,4889	0,00238	2,6233	**42,0**	131,9	1385,4
421	177241	74618461	20,5183	7,4948	0,00238	2,6243	1	132,3	1392,0
422	178084	75151448	20,5426	7,5007	0,00237	2,6253	2	132,6	1398,7
423	178929	75686967	20,5670	7,5067	0,00236	2,6263	3	132,9	1405,3
424	179776	76225024	20,5913	7,5126	0,00236	2,6274	4	133,2	1412,0
425	180625	76765625	20,6155	7,5185	0,00235	2,6284	5	133,5	1418,6
426	181476	77308776	20,6398	7,5244	0,00235	2,6294	6	133,8	1425,3
427	182329	77854483	20,6640	7,5302	0,00234	2,6304	7	134,1	1432,0
428	183184	78402752	20,6882	7,5361	0,00234	2,6314	8	134,5	1438,7
429	184041	78953589	20,7123	7,5420	0,00233	2,6325	9	134,8	1445,5
430	184900	79507000	20,7364	7,5478	0,00233	2,6335	**43,0**	135,1	1452,2

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
431	185761	80062991	20,7605	7,5537	0,00232	2,6345	1	135,4	1459,0
432	186624	80621568	20,7846	7,5595	0,00231	2,6355	2	135,7	1465,7
433	187489	81182737	20,8087	7,5654	0,00231	2,6365	3	136,0	1472,5
434	188356	81746504	20,8327	7,5712	0,00230	2,6375	4	136,3	1479,3
435	189225	82312875	20,8567	7,5770	0,00230	2,6385	**5**	136,7	1486,2
436	190096	82881856	20,8806	7,5828	0,00229	2,6395	6	137,0	1493,0
437	190969	83453453	20,9045	7,5886	0,00229	2,6405	7	137,3	1499,9
438	191844	84027672	20,9284	7,5944	0,00228	2,6415	8	137,6	1506,7
439	192721	84604519	20,9523	7,6001	0,00228	2,6425	9	137,9	1513,6
440	193600	85184000	20,9762	7,6059	0,00227	2,6435	**44,0**	138,2	1520,5
441	194481	85766121	21,0000	7,6117	0,00227	2,6444	1	138,5	1527,5
442	195364	86350888	21,0238	7,6174	0,00226	2,6454	2	138,9	1534,4
443	196249	86938307	21,0476	7,6232	0,00226	2,6464	3	139,2	1541,3
444	197136	87528384	21,0713	7,6289	0,00225	2,6474	4	139,5	1548,3
445	198025	88121125	21,0950	7,6346	0,00225	2,6484	**5**	139,8	1555,3
446	198916	88716536	21,1187	7,6403	0,00224	2,6493	6	140,1	1562,3
447	199809	89314623	21,1424	7,6460	0,00224	2,6503	7	140,4	1569,3
448	200704	89915392	21,1660	7,6517	0,00223	2,6513	8	140,7	1576,3
449	201601	90518849	21,1896	7,6574	0,00223	2,6523	9	141,1	1583,4
450	202500	91125000	21,2132	7,6631	0,00222	2,6532	**45,0**	141,4	1590,4
451	203401	91733851	21,2368	7,6688	0,00222	2,6542	**1**	141,7	1597,5
452	204304	92345408	21,2603	7,6744	0,00221	2,6551	**2**	142,0	1604,6
453	205209	92959677	21,2838	7,6801	0,00221	2,6561	3	142,3	1611,7
454	206116	93576664	21,3073	7,6857	0,00220	2,6571	4	142,6	1618,8
455	207025	94196375	21,3307	7,6914	0,00220	2,6580	**5**	142,9	1626,0
456	207936	94818816	21,3542	7,6970	0,00219	2,6590	6	143,3	1633,1
457	208849	95443993	21,3776	7,7026	0,00219	2,6599	7	143,6	1640,3
458	209764	96071912	21,4009	7,7082	0,00218	2 6609	8	143,9	1647,5
459	210681	96702579	21,4243	7,7138	0,00218	2,6618	9	144,2	1654,7
460	211600	97336000	21,4476	7 7194	0,00217	2,6628	**46,0**	144,5	1661,9
461	212521	97972181	21,4709	7,7250	0,00217	2,6637	1	144,8	1669,1
462	213444	98611128	21,4942	7,7306	0,00216	2,6646	2	145,1	1676,4
463	214369	99252847	21,5174	7,7362	0,00216	2,6656	3	145,5	1683,7
464	215296	99897344	21,5407	7,7418	0,00216	2,6665	4	145,8	1690,0
465	216225	100544625	21,5639	7,7473	0,00215	2,6675	**5**	146,1	1698,2
466	217156	101194696	21,5870	7,7529	0,00215	2,6684	6	146,4	1705,5
467	218089	101847563	21,6102	7,7584	0,00214	2,6693	7	146,7	1712,9
468	219024	102503232	21,6333	7,7639	0,00214	2,6703	8	147,0	1720,2
469	219961	103161709	21,6564	7,7695	0,00213	2,6712	9	147,3	1727,6
470	220900	103823000	21,6795	7,7750	0,00213	2,6721	**47,0**	147,7	1734,9
471	221841	104487111	21,7025	7,7805	0,00212	2,6730	1	148,0	1742,3
472	222784	105154048	21,7256	7,7860	0,00212	2,6739	2	148,3	1749,7
473	223729	105823817	21,7486	7,7915	0,00211	2,6749	3	148,6	1757,2
474	224676	106496424	21,7715	7,7970	0,00211	2,6758	4	148,9	1764,6
475	225625	107171875	21,7945	7,8025	0,00211	2,6767	**5**	149,2	1772,1
476	226576	107850176	21,8174	7,8079	0,00210	2,6776	6	149,5	1779,5
477	227529	108531333	21,8403	7,8134	0,00210	2,6785	7	149,9	1787,0
478	228484	109215352	21,8632	7,8188	0,00209	2,6794	8	150,2	1794,5
479	229441	109902239	21,8861	7,8243	0,00209	2,6803	9	150,5	1802,0
480	230400	110592000	21,9089	7,8297	0,00208	2,6812	**48,0**	150,8	1809,6
481	231361	111284641	21,9317	7,8352	0,00208	2,6822	1	151,1	1817,1
482	232324	111980168	21,9545	7,8406	0,00207	2,6831	2	151,4	1824,7
483	233289	112678587	21,9773	7,8460	0,00207	2,6840	3	151,7	1832,2
484	234256	113379904	22,0000	7,8514	0,00207	2,6849	4	152,1	1839,8
485	235225	114084125	22,0227	7,8568	0,00206	2,6857	**5**	152,4	1847,5

n	n^2	n^5	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
486	236196	114791256	22,0454	7,8622	0,00206	2,6866	6	152,7	1855,1
487	237169	115501303	22,0681	7,8676	0,00205	2,6875	7	153,0	1862,7
488	238144	116214272	22,0907	7,8730	0,00205	2,6884	8	153,3	1870,4
489	239121	116930169	22,1133	7,8784	0,00204	2,6893	9	153,6	1878,1
490	240100	117649000	22,1359	7,8837	0,00204	2,6902	**49,0**	153,9	1885,7
491	241081	118370771	22,1585	7,8891	0,00204	2,6911	1	154,3	1893,4
492	242064	119095488	22,1811	7,8944	0,00203	2,6920	2	154,6	1901,2
493	243049	119823157	22,2036	7,8998	0,00203	2,6929	3	154,9	1908,9
494	244036	120553784	22,2261	7,9051	0,00202	2,6937	4	155,2	1916,7
495	245025	121287375	22,2486	7,9105	0,00202	2,6946	5	155,5	1924,4
496	246016	122023936	22,2711	7,9158	0,00202	2,6955	6	155,8	1932,2
497	247009	122763473	22,2935	7,9211	0,00201	2,6964	7	156,1	1940,0
498	248004	123505992	22,3159	7,9264	0,00201	2,6972	8	156,5	1947,8
499	249001	124251499	22,3383	7,9317	0,00200	2,6981	9	156,8	1955,6
500	250000	125000000	22,3607	7,9370	0,00200	2,6990	**50,0**	157,1	1963,5
501	251001	125751501	22,3830	7,9423	0,00200	2,6998	1	157,4	1971,4
502	252004	126506008	22,4054	7,9476	0,00199	2,7007	2	157,7	1979,2
503	253009	127263527	22,4277	7,9528	0,00199	2,7016	3	158,0	1987,1
504	254016	128024064	22,4499	7,9581	0,00198	2,7024	4	158,3	1995,0
505	255025	128787625	22,4722	7,9634	0,00198	2,7033	5	158.7	2003,0
506	256036	129554216	22,4944	7,9686	0,00198	2,7042	6	159,0	2010,9
507	257049	130323843	22,5167	7,9739	0,00197	2,7050	7	159,3	2018,9
508	258064	131096512	22,5389	7,9791	0,00197	2,7059	8	159,6	2026,8
509	259081	131872229	22,5610	7,9843	0,00196	2,7067	9	159,9	2034,8
510	260100	132651000	22,5832	7,9896	0,00196	2,7076	**51,0**	160,2	2042,8
511	261121	133432831	22,6053	7,9948	0,00196	2,7084	1	160,5	2050,8
512	262144	134217728	22,6274	8,0000	0,00195	2,7093	2	160,8	2058,9
513	263169	135005697	22,6495	8,0052	0,00195	2,7101	3	161,2	2066,9
514	264196	135796744	22,6716	8,0104	0,00195	2,7110	4	161,5	2075,0
515	265225	136590875	22,6936	8,0156	0,00194	2,7118	5	161,8	2083,1
516	266256	137388096	22,7156	8,0208	0,00194	2,7127	6	162,1	2091,2
517	267289	138188413	22,7376	8,0260	0,00193	2,7135	7	162,4	2099,3
518	268324	138991832	22,7596	8,0311	0,00193	2,7143	8	162,7	2107,4
519	269361	139798359	22,7816	8,0363	0,00193	2,7152	9	163,0	2115,6
520	270400	140608000	22,8035	8,0415	0,00192	2,7160	**52,0**	163,4	2123,7
521	271441	141420761	22,8254	8,0466	0,00192	2,7168	1	163,7	2131,9
522	272484	142236648	22,8473	8,0517	0,00192	2,7177	2	164,0	2140,1
523	273529	143055667	22,8692	8,0569	0,00191	2,7185	3	164,3	2148,3
524	274576	143877824	22,8910	8,0620	0,00191	2,7193	4	164,6	2156,5
525	275625	144703125	22,9129	8,0671	0,00190	2,7202	5	164,9	2164,8
526	276676	145531576	22,9347	8,0723	0,00190	2,7210	6	165,2	2173,0
527	277729	146363183	22,9565	8,0774	0,00190	2,7218	7	165,6	2181,3
528	278784	147197952	22,9783	8,0825	0,00189	2,7226	8	165,9	2189,6
529	279841	148035889	23,0000	8,0876	0,00189	2,7235	9	166,2	2197,9
530	280900	148877000	23,0217	8,0927	0,00189	2,7243	**53,0**	166,5	2206,2
531	281961	149721291	23,0434	8,0978	0,00188	2,7251	1	166,8	2214,5
532	283024	150568768	23,0651	8,1028	0,00188	2,7259	2	167,1	2222,9
533	284089	151419437	23,0868	8,1079	0,00188	2,7267	3	167,4	2231,2
534	285156	152273304	23,1084	8,1130	0,00187	2,7275	4	167,8	2239,6
535	286225	153130375	23,1301	8,1180	0,00187	2,7284	5	168,1	2248,0
536	287296	153990656	23,1517	8,1231	0,00187	2,7292	6	168,4	2256,4
537	288369	154854153	23,1733	8,1281	0,00186	2,7300	7	168,7	2264,8
538	289444	155720872	23,1948	8,1332	0,00186	2,7308	8	169,0	2273,3
539	290521	156590819	23,2164	8,1382	0,00186	2,7316	9	169,3	2281,8
540	291600	157464000	23,2379	8,1433	0,00185	2,7324	**54,0**	169,6	2290,2

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
541	292681	158340421	23,2594	8,1483	0,00185	2,7332	1	170,0	2298,7
542	293764	159222088	23,2809	8,1533	0,00185	2,7340	2	170,3	2307,2
543	294849	160103007	23,3024	8,1583	0,00184	2,7348	3	170,6	2315,7
544	295936	160989184	23,3238	8,1633	0,00184	2,7356	4	170,9	2324,3
545	297025	161878625	23,3452	8,1683	0,00183	2,7364	5	171,2	2332,8
546	298116	162771336	23,3666	8,1733	0,00183	2,7372	6	171,5	2341,4
547	299209	163667323	23,3880	8,1783	0,00183	2,7380	7	171,8	2350,0
548	300304	164566592	23,4094	8,1833	0,00182	2,7388	8	172,2	2358,6
549	301401	165469149	23,4307	8,1882	0,00182	2,7396	9	172,5	2367,2
550	302500	166375000	23,4521	8,1932	0,00182	2,7404	**55,0**	172,8	2375,8
551	303601	167284151	23,4734	8,1982	0,00181	2,7412	1	173,1	2384,5
552	304704	168196608	23,4947	8,2031	0,00181	2,7419	2	173,4	2393,1
553	305809	169112377	23,5160	8,2081	0,00181	2,7427	3	173,7	2401,8
554	306916	170031464	23,5372	8,2130	0,00181	2,7435	4	174,0	2410,5
555	308025	170953875	23,5584	8,2180	0,00180	2,7443	5	174,4	2419,2
556	309136	171879616	23,5797	8,2229	0,00180	2,7451	6	174,7	2427,9
557	310249	172808693	23,6008	8,2278	0,00180	2,7459	7	175,0	2436,7
558	311364	173741112	23,6220	8,2327	0,00179	2,7466	8	175,3	2445,4
559	312481	174676879	23,6432	8,2377	0,00179	2,7474	9	175,6	2454,2
560	313600	175616000	23,6643	8,2426	0,00179	2,7482	**56,0**	175,9	2463,0
561	314721	176558481	23,6854	8,2475	0,00178	2,7490	1	176,2	2471,8
562	315844	177504328	23,7065	8,2524	0,00178	2,7497	2	176,6	2480,6
563	316969	178453547	23,7276	8,2573	0,00178	2,7505	3	176,9	2489,5
564	318096	179406144	23,7487	8,2621	0,00177	2,7513	4	177,2	2498,3
565	319225	180362125	23,7697	8,2670	0,00177	2,7521	5	177,5	2507,2
566	320356	181132496	23,7908	8,2719	0,00177	2,7528	6	177,8	2516,1
567	321489	182284263	23,8118	8,2768	0,00176	2,7536	7	178,1	2525,0
568	322624	183250432	23,8328	8,2816	0,00176	2,7544	8	178,4	2533,9
569	323761	184220009	23,8537	8,2865	0,00176	2,7551	9	178,8	2542,8
570	324900	185193000	23,8747	8,2913	0,00175	2,7559	**57,0**	179,1	2551,8
571	326041	186169411	23,8956	8,2962	0,00175	2,7566	1	179,4	2560,7
572	327184	187149248	23,9165	8,3010	0,00175	2,7574	2	179,7	2569,7
573	328329	188132517	23,9374	8,3059	0,00175	2,7582	3	180,0	2578,7
574	329476	189119224	23,9583	8,3107	0,00174	2,7589	4	180,3	2587,7
575	330625	190109375	23,9792	8,3155	0,00174	2,7597	5	180,6	2596,7
576	331776	191102976	24,0000	8,3203	0,00174	2,7604	6	181,0	2605,8
577	332929	192100033	24,0208	8,3251	0,00173	2,7612	7	181,3	2614,8
578	334084	193100552	24,0416	8,3300	0,00173	2,7619	8	181,6	2623,9
579	335241	194104539	24,0624	8,3348	0,00173	2,7627	9	181,9	2633,0
580	336400	195112000	24,0832	8,3396	0,00172	2,7634	**58,0**	182,2	2642,1
581	337561	196122941	24,1039	8,3443	0,00172	2,7642	1	182,5	2651,2
582	338724	197137368	24,1247	8,3491	0,00172	2,7649	2	182,8	2660,3
583	339889	198155287	24,1454	8,3539	0,00172	2,7657	3	183,2	2669,5
584	341056	199176704	24,1661	8,3587	0,00171	2,7664	4	183,5	2678,7
585	342225	200201625	24,1868	8,3634	0,00171	2,7672	5	183,8	2687,8
586	343396	201230056	24,2074	8,3682	0,00171	2,7679	6	184,1	2697,0
587	344569	202262003	24,2281	8,3730	0,00170	2,7686	7	184,4	2706,2
588	345744	203297472	24,2487	8,3777	0,00170	2,7694	8	184,7	2715,5
589	346921	204336469	24,2693	8,3825	0,00170	2,7701	9	185,0	2724,7
590	348100	205379000	24,2899	8,3872	0,00169	2,7709	**59,0**	185,4	2734,0
591	349281	206425071	24,3105	8,3919	0,00169	2,7716	1	185,7	2743,3
592	350464	207474688	24,3311	8,3967	0,00169	2,7723	2	186,0	2752,5
593	351649	208527857	24,3516	8,4014	0,00169	2,7731	3	186,3	2791,8
594	352836	209584584	24,3721	8,4061	0,00168	2,7738	4	186,6	2771,2
595	354025	210644875	24,3926	8,4108	0,00168	2,7745	5	186,9	2780,5

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
596	355216	211708736	24,4131	8,4155	0,00168	2,7753	6	187,2	2789,9
597	356409	212776173	24,4336	8,4202	0,00168	2,7760	7	187,6	2799,2
598	357604	213847192	24,4540	8,4249	0,00167	2,7767	8	187,9	2808,6
599	358801	214921799	24,4745	8,4296	0,00167	2,7774	9	188,2	2818,0
600	360000	216000000	24,4949	8,4343	0,00167	2,7782	**60,0**	188,5	2827,4
601	361201	217081801	24,5153	8,4390	0,00166	2,7789	1	188,8	2836,9
602	362404	218167208	24,5357	8,4437	0,00166	2,7796	2	189,1	2846,3
603	363609	219256227	24,5561	8,4484	0,00166	2,7803	3	189,4	2855,8
604	364816	220348864	24,5764	8,4530	0,00166	2,7810	4	189,8	2865,3
605	366025	221445125	24,5967	8,4577	0,00165	2,7818	**5**	190,1	2874,8
606	367236	222545016	24,6171	8,4623	0,00165	2,7825	6	190,4	2884,3
607	368449	223648543	24,6374	8,4670	0,00165	2,7832	7	190,7	2893,8
608	369664	224755712	24,6577	8,4716	0,00164	2,7839	8	191,0	2903,3
609	370881	225866529	24,6779	8,4763	0,00164	2,7846	9	191,3	2912,9
610	372100	226981000	24,6982	8,4809	0,00164	2,7853	**61,0**	191,6	2922,5
611	373321	228099131	24,7184	8,4856	0,00164	2,7860	1	192,0	2932,1
612	374544	229220928	24,7386	8,4902	0,00163	2,7868	2	192,3	2941,7
613	375769	230346397	24,7588	8,4948	0,00163	2,7875	3	192,6	2951,3
614	376996	231475544	24,7790	8,4994	0,00163	2,7882	4	192,9	2960,9
615	378225	232608375	24,7992	8,5040	0,00163	2,7889	**5**	193,2	2970,6
616	379456	233744896	24,8193	8,5086	0,00162	2,7896	6	193,5	2980,2
617	380689	234885113	24,8395	8,5132	0,00162	2,7903	7	193,8	2989,9
618	381924	236029032	24,8596	8,5178	0,00162	2,7910	8	194,2	2999,6
619	383161	237176659	24,8797	8,5224	0,00162	2,7917	9	194,5	3009,3
620	384400	238328000	24,8998	8,5270	0,00161	2,7924	**62,0**	194,8	3019,1
621	385641	239483061	24,9199	8,5316	0,00161	2,7931	1	195,1	3028,8
622	386884	240641848	24,9399	8,5362	0,00161	2,7938	2	195,4	3038,6
623	388129	241804367	24,9600	8,5408	0,00161	2,7945	3	195,7	3048,4
624	389376	242970624	24,9800	8,5453	0,00160	2,7952	4	196,0	3058,2
625	390625	244140625	25,0000	8,5499	0,00160	2,7959	**5**	196,4	3068,0
626	391876	245314376	25,0200	8,5544	0,00160	2,7966	6	196,7	3077,8
627	393129	246491883	25 0400	8,5590	0,00159	2,7973	7	197,0	3087,6
628	394384	247673152	25,0599	8,5635	0,00159	2,7980	8	197,3	3097,5
629	395641	248858189	25,0799	8,5681	0,00159	2,7987	9	197,6	3107,4
630	396900	250047000	25,0998	8,5726	0,00159	2,7993	**63,0**	197,9	3117,2
631	398161	251239591	25,1197	8,5772	0,00158	2,8000	1	198,2	3127,1
632	399424	252435968	25,1396	8,5817	0,00158	2,8007	2	198,5	3137,1
633	400689	253636137	25,1595	8,5862	0,00158	2,8014	3	198,9	3147.0
634	401956	254840104	25,1794	8,5907	0,00158	2,8021	4	199,2	3157,0
635	403225	256047875	25,1992	8,5952	0,00157	2,8028	**5**	199,5	3166,9
636	404496	257259456	25,2190	8,5997	0,00157	2,8035	6	199,8	3176,9
637	405769	258474853	25,2389	8,6043	0,00157	2,8041	7	200,1	3186,9
638	407044	259694072	25,2587	8,6088	0,00157	2,8048	8	200,4	3196,9
639	408321	260917119	25,2784	8,6132	0,00156	2,8055	9	200,7	3206,9
640	409600	262144000	25,2982	8,6177	0,00156	2,8062	**64,0**	201,1	3217,0
641	410881	263374721	25,3180	8,6222	0,00156	2,8069	1	201,4	3227,1
642	412164	264609288	25,3377	8,6267	0,00156	2,8075	2	201,7	3237,1
643	413449	265847707	25,3574	8,6312	0,00156	2,8082	3	202,0	3247,2
644	414736	267089984	25,3772	8,6357	0,00155	2,8089	4	202,3	3257,3
645	416025	268336125	25,3969	8,6401	0,00155	2,8096	**5**	202,6	3267,5
646	417316	269586136	25,4165	8,6446	0,00155	2,8102	6	202,9	3277,6
647	418609	270840023	25,4362	8,6490	0,00155	2,8109	7	203,3	3287,7
648	419904	272097792	25,4558	8,6535	0,00154	2,8116	8	203,6	3297,9
649	421201	273359449	25,4755	8,6579	0,00154	2,8122	9	203,9	3308,1
650	422500	274625000	25,4951	8,6624	0,00154	2,8129	**65,0**	204,2	3318,3

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	$d = 0{,}1\,n$	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
651	423801	275894451	25,5147	8,6668	0,00154	2,8136	1	204,5	3328,5
652	425104	277167808	25,5343	8,6713	0,00153	2,8143	2	204,8	3338,8
653	426409	278445077	25,5539	8,6757	0,00153	2,8149	3	205,1	3349,0
654	427716	279726264	25,5734	8,6801	0,00153	2,8156	4	205,5	3359,3
655	429025	281011375	25,5930	8,6845	0,00153	2,8162	**5**	205,8	3369,6
656	430336	282300416	25,6125	8 6890	0,00152	2,8169	6	206,1	3379,9
657	431649	283593393	25,6320	8,6934	0,00152	2,8176	7	206,4	3390,2
658	432964	284890312	25,6515	8,6978	0,00152	2,8182	8	206,7	3400,5
659	434281	286191179	25,6710	8,7022	0,00152	2,8189	9	207,0	3410,8
660	435600	287496000	25,6905	8,7066	0,00152	2,8195	**66,0**	207,3	3421,2
661	436921	288804781	25,7099	8,7110	0,00151	2,8202	1	207,7	3431,6
662	438244	290117528	25,7294	8,7154	0,00151	2,8209	2	208,0	3442,0
663	439569	291434247	25,7488	8,7198	0,00151	2,8215	3	208,3	3452,4
664	440896	292754944	25,7682	8,7241	0,00151	2,8222	4	208,6	3462,8
665	442225	294079625	25,7876	8,7285	0,00150	2,8228	**5**	208,9	3473,2
666	443556	295408296	25,8070	8,7329	0,00150	2,8235	6	209,2	3483,7
667	444889	296740963	25,8263	8,7373	0,00150	2,8241	7	209,5	3494,2
668	446224	298077632	25,8457	8,7416	0,00150	2,8248	8	209,9	3504,6
669	447561	299418309	25,8650	8,7460	0,00149	2,8254	9	210,2	3515,1
670	448900	300763000	25,8844	8,7503	0,00149	2,8261	**67,0**	210,5	3525,7
671	450241	302111711	25,9037	8,7547	0,00149	2,8267	1	210,8	3536,2
672	451584	303464448	25,9230	8,7590	0,00149	2,8274	2	211,1	3546,7
673	452929	304821217	25,9422	8,7634	0,00149	2,8280	3	211,4	3557,3
674	454276	306182024	25,9615	8,7677	0,00148	2,8287	4	211,7	3567,9
675	455625	307546875	25,9808	8,7721	0,00148	2,8293	**5**	212,1	3578,5
676	456976	308915776	26,0000	8,7764	0,00148	2,8299	6	212,4	3589,1
677	458329	310288733	26,0192	8.7807	0,00148	2,8306	7	212,7	3599,7
678	459684	311665752	26 0384	8,7850	0,00147	2,8312	8	213,0	3610,3
679	461041	313046839	26,0576	8,7893	0,00147	2,8319	9	213,3	3621,0
680	462400	314432000	26,0768	8,7937	0,00147	2,8325	**68,0**	213,6	3631,7
681	463761	315821241	26,0960	8,7980	0,00147	2,8332	1	213,9	3642,4
682	465124	317214568	26,1151	8,8023	0,00147	2,8338	2	214,3	3653,1
683	466489	318611987	26,1343	8,8066	0,00146	2,8344	3	214,6	3663,8
684	467856	320013504	26,1534	8,8109	0,00146	2,8351	4	214,9	3674,5
685	469225	321419125	26,1725	8,8152	0,00146	2,8357	**5**	215,2	3685,3
686	470596	322828856	26,1916	8,8194	0,00146	2,8363	6	215,5	3696,1
687	471969	324242703	26,2107	8,8237	0,00146	2,8370	7	215,8	3706,8
688	473344	325660672	26,2298	8,8280	0,00145	2,8376	8	216,1	3717,6
689	474721	327082769	26,2488	8,8323	0,00145	2,8382	9	216,5	3728,5
690	476100	328509000	26,2679	8,8366	0,00145	2,8389	**69,0**	216,8	3739,3
691	477481	329939371	26,2869	8,8408	0,00145	2,8395	1	217,1	3750,1
692	478864	331373888	26,3059	8,8451	0,00145	2,8401	2	217,4	3761,0
693	480249	332812557	26,3249	8,8493	0,00144	2,8407	3	217,7	3771,9
694	481636	334255384	26,3439	8,8536	0,00144	2,8414	4	218,0	3782,8
695	483025	335702375	26,3629	8,8578	0,00144	2,8420	**5**	218,3	3793,7
696	484416	337153536	26,3818	8,8621	0,00144	2,8426	6	218,7	3804,6
697	485809	338608873	26,4008	8,8663	0,00143	2,8432	7	219,0	3815,5
698	487204	340068392	26,4197	8,8706	0,00143	2,8439	8	219,3	3826,5
699	488601	341532099	26,4386	8,8748	0,00143	2,8445	9	219,6	3837,5
700	490000	343000000	26,4575	8,8790	0,00143	2,8451	**70,0**	219,9	3848,5
701	491401	344472101	26,4764	8,8833	0,00143	2,8457	1	220,2	3859,5
702	492804	345948408	26,4953	8,8875	0,00142	2,8463	2	220,5	3870,5
703	494209	347428927	26,5141	8,8917	0,00142	2,8470	3	220,9	3881,5
704	495616	348913664	26,5330	8,8959	0,00142	2,8476	4	221,2	3892,6
705	497025	350402625	26,5518	8,9001	0,00142	2,8482	**5**	221,5	3903,6

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}\pi d^2$
706	498436	351895816	26,5707	8,9043	0,00142	2,8488	6	221,8	3914,7
707	499849	353393243	26,5895	8,9085	0,00141	2,8494	7	222,1	3925,8
708	501264	354894912	26,6083	8,9127	0,00141	2,8500	8	222,4	3936,9
709	502681	356400829	26,6271	8,9169	0,00141	2,8506	9	222,7	3948,0
710	504100	357911000	26,6458	8,9211	0,00141	2,8513	**71,0**	223,1	3959,2
711	505521	359425431	26,6646	8,9253	0,00141	2,8519	1	223,4	3970,4
712	506944	360944128	26,6833	8,9295	0,00140	2,8525	2	223,7	3981,5
713	508369	362467097	26,7021	8,9337	0,00140	2,8531	3	224,0	3992,7
714	509796	363994344	26,7208	8,9378	0,00140	2,8537	4	224,3	4003,9
715	511225	365525875	26,7395	8,9420	0,00140	2,8543	5	224,6	4015,2
716	512656	367061696	26,7582	8,9462	0,00140	2,8549	6	224,9	4026,4
717	514089	368601813	26,7769	8,9503	0,00139	2,8555	7	225,3	4037,6
718	515524	370146232	26,7955	8,9545	0,00139	2,8561	8	225,6	4048,9
719	516961	371694959	26,8142	8,9587	0,00139	2,8567	9	225,9	4060,2
720	518400	373248000	26,8328	8,9628	0,00139	2,8573	**72,0**	226,2	4071,5
721	519841	374805361	26,8514	8,9670	0,00139	2,8579	1	226,5	4082,8
722	521284	376367048	26,8701	8,9711	0,00139	2,8585	2	226,8	4094,2
723	522729	377933067	26,8887	8,9752	0,00138	2,8591	3	227,1	4105,5
724	524176	379503424	26,9072	8,9794	0,00138	2,8597	4	227,5	4116,9
725	525625	381078125	26,9258	8,9835	0,00138	2,8603	5	227,8	4128,2
726	527076	382657176	26,9444	8,9876	0,00138	2,8609	6	228,1	4139,6
727	528529	384240583	26,9629	8,9918	0,00138	2,8615	7	228,4	4151,1
728	529984	385828352	26,9815	8,9959	0,00137	2,8621	8	228,7	4162,5
729	531441	387420489	27,0000	9,0000	0,00137	2,8627	9	229,0	4173,9
730	532900	389017000	27,0185	9,0041	0,00137	2,8633	**73,0**	229,3	4185,4
731	534361	390617891	27,0370	9,0082	0,00137	2,8639	1	229,7	4196,9
732	535824	392223168	27,0555	9,0123	0,00137	2,8645	2	230,0	4208,4
733	537289	393832837	27,0740	9,0164	0,00136	2,8651	3	230,3	4219,9
734	538756	395446904	27,0924	9,0205	0,00136	2,8657	4	230,6	4231,4
735	540225	397065375	27,1109	9,0246	0,00136	2,8663	5	230,9	4242,9
736	541696	398688256	27,1293	9,0287	0,00136	2,8669	6	231,2	4254,5
737	543169	400315553	27,1477	9,0328	0,00136	2,8675	7	231,5	4266,0
738	544644	401947272	27,1662	9,0369	0,00136	2,8681	8	231,9	4277,6
739	546121	403583419	27,1846	9,0410	0,00135	2,8686	9	232,2	4289,2
740	547600	405224000	27,2029	9,0450	0,00135	2,8692	**74,0**	232,5	4300,8
741	549081	406869021	27,2213	9,0491	0,00135	2,8698	1	232,8	4312,5
742	550564	408518488	27,2397	9,0532	0,00135	2,8704	2	233,1	4324,1
743	552049	410172407	27,2580	9,0572	0,00135	2,8710	3	233,4	4335,8
744	553536	411830784	27,2764	9,0613	0,00134	2,8716	4	233,7	4347,5
745	555025	413493625	27,2947	9,0654	0,00134	2,8722	5	234,0	4359,2
746	556516	415160936	27,3130	9,0694	0,00134	2,8727	6	234,4	4370,9
747	558009	416832723	27,3313	9,0735	0,00134	2,8733	7	234,7	4382,6
748	559504	418508992	27,3496	9,0775	0,00134	2,8739	8	235,0	4394,3
749	561001	420189749	27,3679	9,0816	0,00134	2,8745	9	235,3	4406,1
750	562500	421875000	27,3861	9,0856	0,00133	2,8751	**75,0**	235,6	4417,9
751	564001	423564751	27,4044	9,0896	0,00133	2,8756	1	235,9	4429,7
752	565504	425259008	27,4226	9,0937	0,00133	2,8762	2	236,2	4441,5
753	567009	426957777	27,4408	9,0977	0,00133	2,8768	3	236,6	4453 3
754	568516	428661064	27,4591	9,1017	0,00133	2,8774	4	236,9	4465,1
755	570025	430368875	27,4773	9,1057	0,00132	2,8780	5	237,2	4477,0
756	571536	432081216	27,4955	9,1098	0,00132	2,8785	6	237,5	4488,8
757	573049	433798093	27,5136	9,1138	0,00132	2,8791	7	237,8	4500,7
758	574564	435519512	27,5318	9,1178	0,00132	2,8797	8	238,1	4512,6
759	576081	437245479	27,5500	9,1218	0,00132	2,8802	9	238,4	4524,5
760	577600	438976000	27,5681	9,1258	0,00132	2,8808	**76,0**	238,8	4536,5

n	n^2	n^5	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
761	579121	440711081	27,5862	9,1298	0,00131	2,8814	1	239,1	4548,4
762	580644	442450728	27,6043	9,1338	0,00131	2,8820	2	239,4	4560,4
763	582169	444194947	27,6225	9,1378	0,00131	2,8825	3	239,7	4572,3
764	583696	445943744	27,6405	9,1418	0,00131	2,8831	4	240,0	4584,3
765	585225	447697125	27,6586	9,1458	0,00131	2,8837	5	240,3	4596,3
766	586756	449455096	27,6767	9,1498	0,00131	2,8842	6	240,6	4608,4
767	588289	451217663	27,6948	9,1537	0,00130	2,8848	7	241,0	4620,4
768	589824	452984832	27,7128	9,1577	0,00130	2,8854	8	241,3	4632,5
769	591361	454756609	27,7308	9,1617	0,00130	2,8859	9	241,6	4644,5
770	592900	456533000	27,7489	9,1657	0,00130	2,8865	**77,0**	241,9	4656,6
771	594441	458314011	27,7669	9,1696	0,00130	2,8870	1	242,2	4668,7
772	595984	460099648	27,7849	9,1736	0,00130	2,8876	2	242,5	4680,8
773	597529	461889917	27,8029	9,1775	0,00129	2,8882	3	242,8	4693,0
774	599076	463684824	27,8209	9,1815	0,00129	2,8887	4	243,2	4705,1
775	600625	465484375	27,8388	9,1855	0,00129	2,8893	5	243,5	4717,3
776	602176	467288576	27,8568	9,1894	0,00129	2,8899	6	243,8	4729,5
777	603729	469097433	27,8747	9,1933	0,00129	2,8904	7	244,1	4741,7
778	605284	470910952	27,8927	9,1973	0,00129	2,8910	8	244,4	4753,9
779	606841	472729139	27,9106	9,2012	0,00128	2,8915	9	244,7	4766,1
780	608400	474552000	27,9285	9,2052	0,00128	2,8921	**78,0**	245,0	4778,4
781	609961	476379541	27,9464	9,2091	0,00128	2,8926	1	245,4	4790,6
782	611524	478211768	27,9643	9,2130	0,00128	2,8932	2	245,7	4802,9
783	613089	480048687	27,9821	9,2170	0,00128	2,8938	3	246,0	4815,2
784	614656	481890304	28,0000	9,2209	0,00128	2,8943	4	246,3	4827,5
785	616225	483736625	28,0179	9,2248	0,00127	2,8949	5	246,6	4839,8
786	617796	485587656	28,0357	9,2287	0,00127	2,8954	6	246,9	4852,2
787	619369	487443403	28,0535	9,2326	0,00127	2,8960	7	247,2	4864,5
788	620944	489303872	28,0713	9,2365	0,00127	2,8965	8	247,6	4876,9
789	622521	491169069	28,0891	9,2404	0,00127	2,8971	9	247,9	4889,3
790	624100	493039000	28,1069	9,2443	0,00127	2,8976	**79,0**	248,2	4901,7
791	625681	494913671	28,1247	9,2482	0,00126	2,8982	1	248,5	4914,1
792	627264	496793088	28,1425	9,2521	0,00126	2,8987	2	248,8	4926,5
793	628849	498677257	28,1603	9,2560	0,00126	2,8993	3	249,1	4939,0
794	630436	500566184	28,1780	9,2599	0,00126	2,8998	4	249,4	4951,4
795	632025	502459875	28,1957	9,2638	0,00126	2,9004	5	249,8	4963,9
796	633616	504358336	28,2135	9,2677	0,00126	2,9009	6	250,1	4976,4
797	635209	506261573	28,2312	9,2716	0,00125	2,9015	7	250,4	4988,9
798	636804	508169592	28,2489	9,2754	0,00125	2,9020	8	250,7	5001,4
799	638401	510082399	28,2666	9,2793	0,00125	2,9026	9	251,0	5014,0
800	640000	512000000	28,2843	9,2832	0,00125	2,9031	**80,0**	251,3	5026,5
801	641601	513922401	28,3019	9,2870	0,00125	2,9036	1	251,6	5039,1
802	643204	515849608	28,3196	9,2909	0,00125	2,9042	2	252,0	5051,7
803	644809	517781627	28,3373	9,2948	0,00125	2,9047	3	252,3	5064,3
804	646416	519718464	28,3549	9,2986	0,00124	2,9053	4	252,6	5076,9
805	648025	521660125	28,3725	9,3025	0,00124	2,9058	5	252,9	5089,6
806	649636	523606616	28,3901	9,3063	0,00124	2,9063	6	253,2	5102,2
807	651249	525557943	28,4077	9,3102	0,00124	2,9069	7	253,5	5114,9
808	652864	527514112	28,4253	9,3140	0,00124	2,9074	8	253,8	5127,6
809	654481	529475129	28,4429	9,3179	0,00124	2,9080	9	254,2	5140,3
810	656100	531441000	28,4605	9,3217	0,00123	2,9085	**1, 0**	254,5	5153,0
811	657721	533411731	28,4781	9,3255	0,00123	2,9090	1	254,8	5165,7
812	659344	535387328	28,4956	9,3294	0,00123	2,9095	2	255,1	5178,5
813	660969	537367797	28,5132	9,3332	0,00123	2,9101	3	255,4	5191,2
814	662596	539353144	28,5307	9,3370	0,00123	2,9106	4	255,7	5204,0
815	664225	541343375	28,5482	9,3408	0,00123	2,9112	5	256,0	5216,8

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d= 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
816	665856	543338496	28,5657	9,3447	0,00123	2,9117	6	256,4	5229,6
817	667489	545338513	28,5832	9,3485	0,00122	2,9122	7	256,7	5242,4
818	669124	547343432	28,6007	9,3523	0,00122	2,9128	8	257,0	5255,3
819	670761	549353259	28,6182	9,3561	0,00122	2,9133	9	257,3	5268,1
820	672400	551368000	28,6356	9,3599	0,00122	2,9138	**82,0**	257,6	5281,0
821	674041	553387661	28,6531	9,3637	0,00122	2,9143	1	257,9	5293,9
822	675684	555412248	28,6705	9,3675	0,00122	2,9149	2	258,2	5306,8
823	677329	557441767	28,6880	9,3713	0,00122	2,9154	3	258,6	5319,7
824	678976	559476224	28,7054	9,3751	0,00121	2,9159	4	258,9	5332,7
825	680625	561515625	28,7228	9,3789	0,00121	2,9164	5	259,2	5345,6
826	682276	563559976	28,7402	9,3827	0,00121	2,9170	6	259,5	5358,6
827	683929	565609283	28,7576	9,3865	0,00121	2,9175	7	259,8	5371,6
828	685584	567663552	28,7750	9,3902	0,00121	2,9180	8	260,1	5384,6
829	687241	569722789	28,7924	9 3940	0,00121	2,9186	9	260,4	5397,6
830	688900	571787000	28,8097	9,3978	0,00120	2,9191	**83,0**	260,8	5410,6
831	690561	573856191	28,8271	9,4016	0,00120	2.9196	1	261,1	5423,7
832	692224	575930368	28,8444	9,4053	0,00120	2,9201	2	261,4	5436,7
833	693889	578009537	28,8617	9,4091	0,00120	2,9206	3	261,7	5449,8
834	695556	580093704	28,8791	9,4129	0,00120	2,9212	4	262,0	5462,9
835	697225	582182875	28,8964	9,4166	0,00120	2,9217	5	262,3	5476,0
836	698896	584277056	28,9137	9,4204	0,00120	2,9222	6	262,6	5489.1
837	700569	586376253	28,9310	9,4241	0,00119	2,9228	7	263,0	5502,3
838	702244	588480472	28,9482	9,4279	0,00119	2,9232	8	263,3	5515,4
839	703921	590589719	28,9655	9,4316	0,00119	2;9238	9	263,6	5528,6
840	705600	592704000	28,9828	9,4354	0,00119	2,9243	**84,0**	263,9	5541,8
841	707281	594823321	29,0000	9,4391	0,00119	2,9248	1	264,2	5555,0
842	708964	596947688	29,0172	9,4429	0,00119	2,9253	2	264,5	5568,2
843	710649	599077107	29,0345	9,4466	0,00119	2,9258	3	264,8	5581,4
844	712336	601211584	29,0517	9,4503	0,00118	2,9263	4	265,2	5594,7
845	714025	603351125	29,0689	9,4541	0,00118	2,9269	5	265,5	5607,9
846	715716	605495736	29,0861	9 4578	0,00118	2,9274	6	265,8	5621,2
847	717409	607645423	29,1033	9,4615	0,00118	2,9279	7	266,1	5634,5
848	719104	609800192	29,1204	9,4652	0,00118	2,9284	8	266,4	5647,8
849	720801	611960049	29,1376	9,4690	0,00118	2,9289	9	266,7	5661,2
850	722500	614125000	29,1548	9,4727	0,00118	2,9294	**85,0**	267,0	5674,5
851	724201	616295051	29,1719	9,4764	0,00118	2,9299	1	267,4	5687,9
852	725904	618470208	29,1890	9,4801	0,00117	2,9304	2	267,7	5701,2
853	727609	620650477	29,2062	9,4838	0,00117	2,9309	3	268,0	5714,6
854	729316	622835864	29,2233	9,4875	0.00117	2,9315	4	268,3	5728,0
855	731025	625026375	29,2404	9,4912	0,00117	2,9320	5	268,6	5741,5
856	732736	627222016	29,2575	9,4949	0,00117	2,9325	6	268,9	5754,9
857	734449	629422793	29,2746	9,4986	0,00117	2,9330	7	269,2	5768,3
858	736164	631628712	29,2916	9,5023	0,00117	2,9335	8	269,5	5781,8
859	737881	633839779	29,3087	9,5060	0,00116	2,9340	9	269,9	5795,3
860	739600	636056000	29,3258	9,5097	0,00116	2,9345	**86,0**	270,2	5808,8
861	741321	638277381	29,3428	9,5134	0,00116	2,9350	1	270,5	5822,3
862	743044	640503928	29.3598	9,5171	0,00116	2,9355	2	270,8	5835,9
863	744769	642735647	29,3769	9,5207	0,00116	2,9360	3	271,1	5849,4
864	746496	644972544	29,3939	9,5244	0,00116	2,9365	4	271,4	5863,0
865	748225	647214625	29,4109	9,5281	0,00116	2 9370	5	271,7	5876,5
866	749956	649461896	29,4279	9,5317	0,00115	2,9375	6	272,1	5890,1
867	751689	651714363	29,4449	9 5354	0,00115	2,9380	7	272,4	5903,8
868	753424	653972032	29,4618	9,5391	0,00115	2,9385	8	272,7	5917,4
869	755161	656234909	29,4788	9,5427	0,00115	2,9390	9	273 0	5931,0
870	756900	658503000	29,4958	9,5464	0,00115	2,9395	**87,0**	273,3	5944,7

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
871	758641	660776311	29,5127	9,5501	0,00115	2,9400	1	273,6	5958,4
872	760384	663054848	29,5296	9,5537	0,00115	2,9405	2	273,9	5972,0
873	762129	665338617	29,5466	9,5574	0,00115	2,9410	3	274,3	5985,7
874	763876	667627624	29,5635	9,5610	0,00114	2,9415	4	274,6	5999,5
875	765625	669921875	29,5804	9,5647	0,00114	2,9420	**5**	274,9	6013,2
876	767376	672221376	29,5973	9,5683	0,00114	2,9425	6	275,2	6027,0
877	769129	674526133	29 6142	9,5719	0,00114	2,9430	7	275,5	6040,7
878	770884	676836152	29,6311	9,5756	0,00114	2,9435	8	275,8	6054,5
879	772641	679151439	29,6479	9,5792	0,00114	2,9440	9	276,1	6068,3
880	774400	681472000	29,6648	9,5828	0,00114	2,9445	**88,0**	276,5	6082,1
881	776161	683797841	29,6816	9,5865	0,00114	2,9450	1	276,8	6096,0
882	777924	686128968	29,6985	9,5901	0,00113	2,9455	2	277,1	6109,8
883	779689	688465387	29,7153	9,5937	0,00113	2,9460	3	277,4	6123,7
884	781456	690807104	29,7321	9,5973	0,00113	2,9465	4	277,7	6137,5
885	783225	693154125	29,7489	9,6010	0,00113	2,9469	**5**	278,0	6151,4
886	784996	695506456	29,7658	9,6046	0,00113	2,9474	6	278,3	6165,3
887	786769	697864103	29,7825	9,6082	0,00113	2,9479	7	278,7	6179,3
888	788544	700227072	29,7993	9,6118	0,00113	2,9484	8	279,0	6193,2
889	790321	702595369	29,8161	9,6154	0,00112	2,9489	9	279,3	6207,2
890	792100	704969000	29,8329	9,6190	0,00112	2,9494	**89,0**	279,6	6221,1
891	793881	707347971	29,8496	9,6226	0,00112	2,9499	1	279,9	6235,1
892	795664	709732288	29,8664	9,6262	0,00112	2,9504	2	280,2	6249,1
893	797449	712121957	29,8831	9,6298	0,00112	2,9509	3	280,5	6263,1
894	799236	714516984	29,8998	9,6334	0,00112	2,9513	4	280,9	6277,2
895	801025	716917375	29,9166	9,6370	0,00112	2,9518	**5**	281,2	6291,2
896	802816	719323136	29,9333	9,6406	0,00112	2,9523	6	281,5	6305,3
897	804609	721734273	29,9500	9,6442	0,00111	2,9528	7	281,8	6319,4
898	806404	724150792	29,9666	9,6477	0,00111	2,9533	8	282,1	6333,5
899	808201	726572699	29,9833	9,6513	0,00111	2,9538	9	282,4	6347,6
900	810000	729000000	30,0000	9,6549	0,00111	2,9542	**9,00**	282,7	6361,7
901	811801	731432701	30,0167	9,6585	0,00111	2,9547	1	283,1	6375,9
902	813604	733870808	30,0333	9,6620	0,00111	2,9552	2	283,4	6390,0
903	815409	736314327	30,0500	9,6656	0,00111	2,9557	3	283,7	6404,2
904	817216	738763264	30,0666	9,6692	0,00111	2,9562	4	284,0	6418,4
905	819025	741217625	30,0832	9,6727	0,00110	2,9567	**5**	284,3	6432,6
906	820836	743677416	30,0998	9,6763	0,00110	2,9571	6	284,6	6446,8
907	822649	746142643	30,1164	9,6799	0,00110	2,9576	7	284,9	6461,1
908	824464	748613312	30,1330	9,6834	0.00110	2,9581	8	285,3	6475,3
909	826281	751089429	30,1496	9,6870	0,00110	2,9586	9	285,6	6489,6
910	828100	753571000	30,1662	9,6905	0,00110	2,9590	**91,0**	285,9	6503,8
911	829921	756058031	30,1828	9,6941	0,00110	2,9595	1	286,2	6518,2
912	831744	758550528	30.1993	9,6976	0,00110	2,9599	2	286,5	6532,5
913	833569	761048497	30,2159	9,7012	0,00110	2,9605	3	286,8	6546,8
914	835396	763551944	30,2324	9,7047	0,00109	2,9609	4	287,1	6561,2
915	837225	766060875	30,2490	9,7082	0,00109	2,9614	**5**	287,3	6575,2
916	839056	768575296	30,2655	9,7118	0,00109	2,9619	6	287,8	6589,9
917	840889	771095213	30,2820	9,7153	0,00109	2,9624	7	288,1	6604,3
918	842724	773620632	30,2985	9,7188	0,00109	2,9628	8	288,4	6618,7
919	844561	776151559	30,3150	9,7224	0,00109	2,9633	9	288,7	6633,2
920	846400	778688000	30,3315	9,7259	0,00109	2,9638	**92,0**	289,0	6647,6
921	848241	781229961	30,3480	9,7294	0,00109	2,9643	1	289,3	6662,1
922	850084	783777448	30,3645	9,7329	0,00108	2,9647	2	289,7	6676,5
923	851929	786330467	30,3809	9,7364	0,00108	2,9652	3	290,0	6691,0
924	853776	788889024	30,3974	9,7400	0,00108	2,9657	4	290,3	6705,5
925	855625	791453125	30,4138	9,7435	0,00108	2,9661	**5**	290,6	6720,1

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ БИБЛИОТЕКА

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
926	857476	794022776	30,4302	9,7470	0,00108	2,9666	6	290,9	6734,6
927	859329	796597983	30,4467	9,7505	0,00108	2,9671	7	291,2	6749,2
928	861184	799178752	30,4631	9,7540	0,00108	2,9675	8	291,5	6763,7
929	863041	801765089	30,4795	9,7575	0,00108	2,9680	9	291,9	6778,3
930	864900	804357000	30,4959	9,7610	0,00108	2,9685	**93,0**	292,2	6792,9
931	866761	806954491	30,5123	9,7645	0,00107	2,9689	1	292,5	6807,5
932	868624	809557568	30,5287	9,7680	0,00107	2,9694	2	292,8	6822,2
933	870489	812166237	30,5450	9,7715	0,00107	2,9699	3	293,1	6836,8
934	872356	814780504	30,5614	9,7750	0,00107	2,9704	4	293,4	6851,5
935	874225	817400375	30,5778	9,7785	0,00107	2,9708	**5**	293,7	6866,1
936	876096	820025856	30,5941	9,7819	0,00107	2,9713	6	294,1	6880,8
937	877969	822656953	30,6105	9,7854	0,00107	2,9717	7	294,4	6895,6
938	879844	825293672	30,6268	9,7889	0,00107	2,9722	8	294,7	6910,8
939	881721	827936019	30,6431	9,7924	0,00106	2,9727	9	295,0	6925,0
940	883600	830584000	30,6594	9,7959	0.00106	2,9731	**94,0**	295,3	6939,8
941	885481	833237621	30,6757	9,7993	0,00106	2,9736	1	295,6	6954,6
942	887364	835896888	30,6920	9,8028	0,00106	2,9740	2	295,9	6969,3
943	889249	838561807	30,7083	9,8063	0,00106	2,9745	3	296,3	6984,1
944	891136	841232384	30,7246	9,8097	0,00106	2,9750	4	296,6	6999,0
945	893025	843908625	30,7409	9,8132	0,00106	2,9754	**5**	296,9	7013,8
946	894916	846590536	30,7571	9,8167	0,00106	2,9759	6	297,2	7028,7
947	896809	849278123	30,7734	9,8201	0,00106	2,9763	7	297,5	7043,5
948	898704	851971392	30,7896	9,8236	0,00105	2,9768	8	297,8	7058,4
949	900601	854670349	30,8058	9,8270	0,00105	2,9773	9	298,1	7073,3
950	902500	857375000	30,8221	9,8305	0,00105	2,9777	**95,0**	298,5	7088,2
951	904401	860085351	30,8383	9,8339	0,00105	2,9782	1	298,8	7103,1
952	906304	862801408	30,8545	9,8374	0,00105	2,9786	2	299,1	7118,1
953	908209	865523177	30,8707	9,8408	0,00105	2,9791	3	299,4	7133,1
954	910116	868250664	30,8869	9,8443	0,00105	2,9796	4	299,7	7148,0
955	912025	870983875	30,9031	9,8477	0,00105	2,9800	**5**	300,0	7163,0
956	913936	873722816	30,9192	9,8511	0,00105	2,9805	6	300,3	7178,0
957	915849	876467493	30,9354	9,8546	0,00104	2,9809	7	300,7	7193,1
958	917764	879217912	30,9516	9,8580	0,00104	2,9814	8	301,0	7208,1
959	919681	881974079	30,9677	9,8614	0,00104	2,9818	9	301,3	7223,2
960	921600	884736000	30,9839	9,8648	0,00104	2,9823	**96,0**	301,6	7238,2
961	923521	887503681	31,0000	9,8683	0,00104	2,9827	1	301,9	7253,3
962	925444	890277128	31,0161	9,8717	0,00104	2,9832	2	302,2	7268,4
963	927369	893056347	31,0322	9,8751	0,00104	2,9836	3	302,5	7283,5
964	929296	895841344	31,0483	9,8785	0,00104	2,9841	4	302,8	7298,7
965	931225	898632125	31,0644	9,8819	0,00104	2,9845	**5**	303,2	7313,8
966	933156	901428696	31,0805	9,8854	8,00104	2,9850	6	303,5	7329,0
967	935089	904231063	31,0966	9,8888	0,00103	2,9854	7	303,8	7344,2
968	937024	907039232	31,1127	9,8922	0,00103	2,9859	8	304,1	7359,4
969	938961	909853209	31,1288	9,8956	0,00103	2,9863	9	304,4	7374,6
970	940900	912673000	31,1448	9,8990	0,00103	2,9868	**97,0**	304,7	7389,8
971	942841	915498611	31,1609	9,9024	0,00103	2,9872	1	305,0	7405,1
972	944784	918330048	31,1769	9,9058	0,00103	2,9877	2	305,4	7420,3
973	946729	921167317	31,1929	9,9092	0,00103	2,9881	3	305,7	7435,6
974	948676	924010424	31,2090	9,9126	0,00103	2,9886	4	306,0	7450,9
975	950625	926859375	31,2250	9,9160	0,00103	2,9890	**5**	306,3	7466,2
976	952576	929714176	31,2410	9,9194	0,00102	2,9895	6	306,6	7481,5
977	954529	932574833	31,2570	9,9227	0,00102	2,9903	7	306,9	7496,9
978	956484	935441352	31,2730	9,9261	0,00102	2,9908	8	307,2	7512,2
979	958441	938313739	31,2890	9,9295	0,00102	2,9912	9	307,6	7527,6
980	960400	941192000	31,3050	9,9329	0,00102	2,9912	**93,0**	307,9	7543,0

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	$d = 0{,}1\,n$	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
981	962361	944076141	31,3209	9,9363	0,00102	2,9917	1	308,2	7558,4
982	964324	946966168	31,3369	9,9396	0,00102	2,9921	2	308,5	7573,8
983	966289	949862087	31,3528	9,9430	0,00102	2,9925	3	308,8	7589,2
984	968256	952763904	31,3688	9,9464	0,00102	2,9930	4	309,1	7604,7
985	970225	955671625	31,3847	9,9497	0,00102	2,9934	**5**	309,4	7620,1
986	972196	958585256	31,4006	9,9531	0,00101	2,9939	6	309,8	7635,6
987	974169	961504803	31,4165	9,9565	0,00101	2,9943	7	310,1	7651,1
988	976144	964430272	31,4325	9,9598	0,00101	2,9948	8	310,4	7666,6
989	978121	967361669	31,4484	9,9632	0,00101	2,9952	9	310,7	7682,1
990	980100	970299000	31,4643	9,9666	0,00101	2,9956	**99,0**	311,0	7697,7
991	982081	973242271	31,4802	9,9699	0,00101	2,9961	1	311,3	7713,2
992	984064	976191488	31,4960	9,9733	0,00101	2,9965	2	311,6	7728,8
993	986049	979146657	31,5119	9,9766	0,00101	2,9969	3	312,0	7744,4
994	988036	982107784	31,5278	9,9800	0,00101	2,9974	4	312,3	7760,0
995	990025	985074875	31,5436	9,9833	0,00101	2,9978	**5**	312,6	7775,6
996	992016	988047936	31,5595	9,9866	0,00100	2,9983	6	312,9	7791,3
997	994009	991026973	31,5753	9,9900	0,00100	2,9987	7	313,2	7806,9
998	996004	994011992	31,5911	9,9933	0,00100	2,9991	8	313,5	7822,6
999	998001	997002999	31,6070	9,9967	0,00100	2,9996	9	313,8	7838,3
1000	1000000	1000000000	31,6228	10,0000	0,00100	3,0000	**100,0**	314,2	8854,0

2. Натуральные логарифмы отъ 1,00 до 10.

Nr.	log nat.	Nr.	log nat.	Nr.	log nat.	Nr.	log nat.	Nr.	log nat.
1,00	0,0000	2,25	0,8109	3,50	1,2528	4,75	1,5581	6,00	1,7918
1,05	0,0488	2,30	0,8329	3,55	1,2669	4,80	1,5686	6,10	1,8083
1,10	0,0953	2,35	0,8544	3,60	1,2809	4,85	1,5790	6,20	1,8245
1,15	0,1398	2,40	0,8755	3,65	1,2947	4,90	1,5892	6,30	1,8405
1,20	0,1823	**2,45**	0,8961	**3,70**	1,3083	**4,95**	1,5994	**6,40**	1,8563
1,25	0,2231	2,50	0,9163	3,75	1,3218	5,00	1,6094	6,50	1,8718
1,30	0,2624	2,55	0,9361	3,80	1,3350	5,05	1,6194	6,60	1,8871
1,35	0,3001	2,60	0,9555	3,85	1,3481	5,10	1,6292	6,70	1,9021
1,40	0,3365	2,65	0,9746	3,90	1,3610	5,15	1,6390	6,80	1,9169
1,45	0,3716	**2,70**	0,9933	**3,95**	1,3737	**5,20**	1,6487	**6,90**	1,9315
1,50	0,4055	2,75	1,0116	4,00	1,3863	5,25	1,6582	7,00	1,9459
1,55	0,4383	2,80	1,0296	4,05	1,3987	5,30	1,6677	7,20	1,9741
1,60	0,4700	2,85	1,0473	4,10	1,4110	5,35	1,6771	7,40	2,0015
1,65	0,5008	2,90	1,0647	4,15	1,4231	5,40	1,6864	7,60	2,0281
1,70	0,5306	**2,95**	1,0818	**4,20**	1,4351	**5,45**	1,6956	**7,80**	2,0541
1,75	0,5596	3,00	1,0986	4,25	1,4469	5,50	1,7047	8,00	2,0794
1,80	0,5878	3,05	1,1151	4,30	1,4586	5,55	1,7138	8,20	2,1041
1,85	0,6152	3,10	1,1314	4,35	1,4701	5,60	1,7228	8,40	2,1282
1,90	0,6419	3,15	1,1474	4,40	1,4816	5,65	1,7317	8,60	2,1518
1,95	0,6678	**3,20**	1,1632	**4,45**	1,4929	**5,70**	1,7405	**8,80**	2,1748
2,00	0,6931	3,25	1,1787	4,50	1,5041	5,75	1,7492	9,00	2,1972
2,05	0,7178	3,30	1,1939	4,55	1,5151	5,80	1,7579	9,25	2,2246
2,10	0,7419	3,35	1,2090	4,60	1,5261	5,85	1,7664	9,50	2,2513
2,15	0,7655	3,40	1,2238	4,65	1,5369	5,90	1,7750	9,75	2,2773
2,20	0,7885	**3,45**	1,2384	**4,70**	1,5476	**5,95**	1,7834	**10,00**	2,3026

Примѣчаніе къ 1-й таблицѣ.

Чтобъ употреблять таблицы для чиселъ, которые содержатъ болѣе цифръ чѣмъ находится въ таблицѣ, служитъ Ньютонова формула интерполяцій:

$$y = y_1 + (y_2 - y_1)\frac{x - x_1}{x_2 - x_1};$$

въ которой: y неизвѣстная, для величины x опредѣляемая величина; y_1 ближайшая меньшая величина y, соотвѣтствующая величинѣ x какъ ближайшей меньшей къ x и наконецъ y_2 ближайшая большая величина y, для которой x_2 есть ближайшая большая величина x.

Пусть требуется найти квадратъ или кубъ четырехъзначнаго числа напримѣръ $4{,}583^2$, то

$x = 4{,}583$
$y = 4{,}583^2 = ?$
$x_1 = 4{,}58$
$y_1 = 4{,}58^2 = 20{,}9764$
$x_2 = 4{,}59$
$y_2 = 4{,}59^2 = 21{,}0681$

$$4{,}583^2 = 20{,}9764 + (21{,}0681 - 20{,}9764)\frac{4{,}583 - 4{,}58}{4{,}59 - 4{,}58}$$
$$= 20{,}9764 + 0{,}0917\,\frac{0{,}003}{0{,}01}$$
$$= 20{,}9764 + 0{,}0917 \,.\, 0{,}3$$
$$= 20{,}9764 + 0{,}02751$$
$$4{,}583^2 = 21{,}00391.$$

Если-бы нужно было опредѣлить $\sqrt[3]{0{,}6647}$ то $x = 0{,}6647$;

$y = \sqrt[3]{0{,}6647} = ?$; $x_1 = 0{,}664$; $y_1 = \sqrt[3]{0{,}664} = 0{,}87241$; $x_2 = 0{,}665$;

$y_2 = \sqrt[3]{0{,}665} = 0{,}87285.$

$$\sqrt[3]{0{,}6647} = 0{,}87241 + (0{,}87285 - 0{,}87241)\frac{0{,}6647 - 0{,}664}{0{,}665 - 0{,}664} = 0{,}8741 +$$
$$0{,}00044 \,.\, 0{,}7 = 0{,}87241 - 0{,}000308;$$
$$\sqrt[3]{0{,}6647} = 0{,}872718.$$

Если данное число раздѣлить на два слагаемыя $(a+b)$ такъ, чтобы b противъ a было очень мало то можно употреблять формулы

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab; \quad \sqrt{a^2 \pm b} = a \pm \frac{b}{2a}$$

$$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b; \quad \sqrt[3]{a^3 \pm b} = a \pm \frac{b}{3a^2}$$

При помощи формулы интерполяціи находимъ окружность если

$2r = 53{,}64$ къ $y = 2r\pi = 168{,}4 + (168{,}7 - 168{,}4).\frac{53{,}64 - 53{,}6}{53{,}7 - 53{,}6}$
$= 168{,}4 + 0{,}12$
$= 168{,}52.$

Такимъ-же образомъ поступаютъ при вычисленіи площадей при помощи таблицы.

---

3. Квадратные и кубическіе корни нѣкоторыхъ дробей.

n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
1/3	0,577	0,693	1/7	0,378	0,523	1/8	0,354	0,500	4/9	0,667	0,763
2/3	0,816	0,874	2/7	0,535	0,659	3/8	0,612	0,721	5/9	0,745	0,822
1/4	0,500	0,630	3/7	0,655	0,754	5/8	0,791	0,855	7/9	0,882	0,920
3/4	0,866	0,909	4/7	0,756	0,830	7/8	0,935	0,956	1/12	0,289	0,437
1/6	0,408	0,550	5/7	0,845	0,894	1/9	0,333	0,481	5/12	0,645	0,747
5/6	0,913	0,941	6/7	0,926	0,950	2/9	0,471	0,606	7/12	0,764	0,836

4. Числовыя значенія нѣкоторыхъ часто встрѣчающихся величинъ

π отношеніе окружности къ діаметру, g ускореніе тяжести = 9,81 м. = 32,18 фута англ.

Величины.	Числовыя значенія.	Величины.	Числовыя значенія.	Величины.	Числовыя значенія.
π	3,141592653589	3		$\log \pi$	0,497149872694
$\pi\sqrt{2}$	4,44288	$\sqrt{\pi^2}$	2,145029	$\log \pi^2$	0,994300
				$\log \pi^3$	1,491450
$\frac{1}{2}\pi$	1,570796	$\pi\sqrt[3]{\pi}$	4,601149	$\log\sqrt{\pi}$	0,248575
$\frac{1}{3}\pi$	1,047197			$\log\sqrt[3]{\pi}$	0,165717
$\frac{1}{4}\pi$	0,785398	$\pi\sqrt[3]{\pi^2}$	6,738808		
$\frac{1}{6}\pi$	0,523599	$\frac{1}{\pi}$	0,318310	$\log\frac{1}{\pi}$	0,502850—1
$\frac{1}{12}\pi$	0,261799	$\frac{16}{\pi}$	5,092958	$\log\frac{1}{\pi^2}$	0,005700—1
$\frac{1}{16}\pi$	0,196350	$\frac{64}{\pi}$	20,371833	$\log\frac{1}{\pi^3}$	0,508550—2
$\frac{1}{32}\pi$	0,098175	$\frac{180}{\pi}$	57,295780	$\log\sqrt{\frac{1}{\pi}}$	0,751425—1
$\frac{1}{64}\pi$	0,049087	$\frac{1}{\pi^2}$	0,101321		
$\frac{1}{90}\pi$	0,034907	$\frac{1}{\pi^3}$	0,032252	$\log\sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	0,834283—1
$\frac{1}{180}\pi$	0,017453	$\frac{1}{\pi^4}$	0,010266		
$\pi\sqrt{2}$	2,221441	$\frac{1}{\pi^5}$	0,003268	g	9,81
				g^2	96,2361
π^2	9,869604	$\frac{1}{\pi^6}$	0,001040	$\sqrt{g}$	3,13209
$4\pi^2$	39,478417			$\pi\sqrt{g}$	9,83974
$\frac{1}{4}\pi^2$	2,467401	$\sqrt{\frac{1}{\pi}}$	0,564190	$2\sqrt{g}$	6,26418
$\frac{1}{16}\pi^2$	0,616850			$\sqrt{2g}$	4,42940
π^3	31,006277	$\sqrt{\frac{2}{\pi}}$	0,797885	$\pi\sqrt{2g}$	13,91536
π^4	97,409091				
π^5	306,019685			$\frac{1}{g}$	0,101936
π^6	961,389194	$\sqrt{\frac{3}{\pi}}$	0,977205		
$\sqrt{\pi}$	1,772454			$\frac{\pi^2}{g}$	1,006075
$2\sqrt{\pi}$	3,544908	$\sqrt{\frac{90}{\pi}}$	5,352372		
$\sqrt{2\pi}$	2,506628			$\frac{1}{2g}$	0,053705
$\sqrt{\frac{1}{2}\pi}$	1,253314	3			
$\pi\sqrt[3]{\pi}$	5,568328	$\sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	0,682784	$\frac{1}{g^2}$	0,010391
$\sqrt[3]{\pi}$	1,464592			$\frac{1}{\sqrt{g}}$	0,319275
$\sqrt[3]{2\pi}$	1,845270	$\sqrt[3]{\frac{2}{\pi}}$	0,860254	$\frac{\pi}{\sqrt{g}}$	1,003033
$\sqrt[3]{\frac{\pi}{2}}$	1,162447	$\sqrt[3]{\frac{3}{\pi}}$	0,984745	$\frac{\pi}{\sqrt{2g}}$	0,709258

5. Таблица длины дугъ, длины хордъ, стрѣлокъ дугъ

Градусы.	Длина дуги.	Хорда.	Стрѣлка дуги.	Площадь сегмента	Градусы.	Длина дуги.	Хорда.	Стрѣлка дуги.	Площадь сегмента
1	0,0175	0,0175	0,00004	0,00000	46	0,8029	0,7815	0,0795	0,04176
2	0,0349	0,0349	0,00015	0,00000	47	0,8203	0,7975	0,0829	0,04448
3	0,0524	0,0524	0,00034	0,00001	48	0,8378	0,8135	0,0865	0,04731
4	0,0698	0,0698	0,00061	0,00003	49	0,8552	0,8294	0,0900	0,05025
5	0,0873	0,0872	0,00095	0,00006	**50**	0,8727	0,8452	0,0937	0,05331
6	0,1047	0,1047	0,00137	0,00010	51	0,8901	0,8610	0,0974	0,05649
7	0,1222	0,1221	0,00187	0,00015	52	0,9076	0,8767	0,1012	0,05978
8	0,1396	0,1395	0,00244	0,00023	53	0,9250	0,8924	0,1051	0,06319
9	0,1571	0,1569	0,00308	0,00032	54	0,9425	0,9080	0,1090	0,06673
10	0,1745	0,1743	0,00381	0,00044	**55**	0,9599	0,9235	0,1130	0,07039
11	0,1920	0,1917	0,00460	0,00059	56	0,9774	0,9389	0,1171	0,07417
12	0,2094	0,2091	0,00548	0,00076	57	0,9948	0,9543	0,1212	0,07808
13	0,2269	0,2264	0,00643	0,00097	58	1,0123	0,9696	0,1254	0,08212
14	0,2443	0,2437	0,00745	0,00121	59	1,0297	0,9848	0,1296	0,08629
15	0,2618	0,2611	0,00856	0,00149	**60**	1,0472	1,0000	0,1340	0,09059
16	0,2793	0,2783	0,00973	0,00181	61	1,0647	1,0151	0,1384	0,09502
17	0,2967	0,2956	0,01098	0,00217	62	1,0821	1,0301	0,1428	0,09958
18	0,3142	0,3129	0,01231	0,00257	63	1,0996	1,0450	0,1474	0,10428
19	0,3316	0,3301	0,01371	0,00302	64	1,1170	1,0598	0,1520	0,10911
20	0,3491	0,3473	0,01519	0,00352	**65**	1,1345	1,0746	0,1566	0,11408
21	0,3665	0,3645	0,01675	0,00408	66	1,1519	1,0893	0,1613	0,11919
22	0,3840	0,3816	0,01837	0,00468	67	1,1694	1,1039	0,1661	0,12443
23	0,4014	0,3987	0,02008	0,00535	68	1,1868	1,1184	0,1710	0,12982
24	0,4189	0,4158	0,02185	0,00607	69	1,2043	1,1328	0,1759	0,13535
25	0,4363	0,4329	0,02370	0,00686	**70**	1,2217	1,1472	0,1808	0,14102
26	0,4538	0,4499	0,02563	0,00771	71	1,2392	1,1614	0,1859	0,14683
27	0,4712	0,4669	0,02763	0,00862	72	1,2566	1,1756	0,1910	0,15279
28	0,4887	0,4838	0,02969	0,00961	73	1,2741	1,1896	0,1961	0,15889
29	0,5061	0,5008	0,03185	0,01067	74	1,2915	1,2036	0,2014	0,16514
30	0,5236	0,5176	0,03407	0,01180	**75**	1,3090	1,2175	0,2066	0,17154
31	0,5411	0,5345	0,03637	0,01301	76	1,3265	1,2313	0,2120	0,17808
32	0,5585	0,5512	0,03874	0,01429	77	1,3439	1,2450	0,2174	0,18477
33	0,5760	0,5680	0,04118	0,01566	78	1,3614	1,2586	0,2229	0,19160
34	0,5934	0,5847	0,04370	0,01711	79	1,3788	1,2722	0,2284	0,19859
35	0,6109	0,6014	0,04628	0,01864	**80**	1,3963	1,2856	0,2340	0,20573
36	0,6283	0,6180	0,04894	0,02027	81	1,4137	1,2989	0,2396	0,21301
37	0,6458	0,6346	0,05168	0,02198	82	1,4312	1,3121	0,2453	0,22045
38	0,6632	0,6511	0,05448	0,02378	83	1,4486	1,3252	0,2510	0,22804
39	0,6807	0,6676	0,05736	0,02568	84	1,4661	1,3383	0,2569	0,23578
40	0,6981	0,6840	0,06031	0,02767	**85**	1,4835	1,3512	0,2627	0,24367
41	0,7156	0,7004	0,06333	0,02976	86	1,5010	1,3640	0,2686	0,25171
42	0,7330	0,7167	0,06642	0,03195	87	1,5184	1,3767	0,2746	0,25990
43	0,7505	0,7330	0,06958	0,03425	88	1,5359	1,3893	0,2807	0,26825
44	0,7679	0,7492	0,07281	0,03664	89	1,5533	1,4018	0,2867	0,27675
45	0,7854	0,7654	0,07612	0,03915	**90**	1,5708	1,4142	0,2929	0,28540

Если нужно отыскать по этой таблицѣ величину для угла въ градусахъ и минутахъ то поступаютъ такъ: напр. длина дуги b для $47^0\ 47'$.

Изъ таблицы b_1 для $47^0 = 0{,}8203$

b_2 для $48^0 = 0{,}8378$

Разность $b_2 - b_1 = 0{,}0175$; отъ этой разности $b_2 - b$, слѣдуетъ прибавить $\frac{47}{60}$ часть къ 0,8203 и получаемъ $47^0\ 47'$: $b = 0{,}8203 + \frac{0{,}0175 \cdot 47}{60} = 0{,}8203 + 0{,}01371 = 0{,}83401$.

и площадей сегментовъ при радіусѣ = 1.

Градусы.	Длина дуги.	Хорда.	Стрѣлка дуги.	Площадь сегмента	Градусы.	Длина дуги.	Хорда.	Стрѣлка дуги.	Площадь сегмента
91	1,5882	1,4265	0,2991	0,29420	136	2,3736	1,8544	0,6254	0,83949
92	1,6057	1,4387	0,3053	0,30316	137	2,3911	1,8608	0,6335	0,85455
93	1,6232	1,4507	0,3116	0,31226	138	2,4086	1,8672	0,6416	0,86971
94	1,6406	1,4627	0,3180	0,32152	139	2,4260	1,8733	0,6498	0,88497
95	1,6581	1,4746	0,3244	0,33093	**140**	2,4435	1,8794	0,6580	0,90034
96	1,6755	1,4863	0,3309	0,34050	141	2,4609	1,8853	0,6662	0,91580
97	1,6930	1,4979	0,3374	0,35021	142	2,4784	1,8910	0,6744	0,93135
98	1,7104	1,5094	0,3439	0,36008	143	2,4958	1,8966	0,6827	0,94700
99	1,7279	1,5208	0,3506	0,37009	244	2,5133	1,9021	0,6910	0,96274
100	1,7453	1,5321	0,3572	0,38026	**145**	2,5307	1,9074	0,6993	0,97858
101	1,7628	1,5432	0,3639	0,39058	146	2,5482	1,9126	0,7076	0,99449
102	1,7802	1,5543	0,3707	0,40104	147	2,5656	1,9176	0,7160	1,01050
103	1,7977	1,5652	0,3775	0,41166	148	2,5831	1,9225	0,7244	1,02658
104	1,8151	1,5760	0,3843	0,42242	149	2,6005	1,9273	0,7328	1,04275
105	1,8326	1,5867	0,3912	0,43334	**150**	2,6180	1,9319	0,7412	1,05900
106	1,8500	1,5973	0,3982	0,44439	151	2,6354	1,9363	0,7496	1,07532
107	1,8675	1,6077	0,4052	0,45560	152	2,6529	1,9406	0,7581	1,09171
108	1,8850	1,6180	0,4122	0,46695	153	2,6704	1,9447	0,7666	1,10818
109	1,9024	1,6282	0,4193	0,47844	154	2,6878	1,9487	0,7750	1,12472
110	1,9199	1,6383	0,4264	0,49008	**155**	2,7053	1,9526	0,7836	1,14132
111	1,9373	1,6483	0,4336	0,50187	156	2,7227	1,9563	0,7921	1,15799
112	1,9548	1,6581	0,4408	0,51379	157	2,7402	1,9598	0,8006	1,17472
113	1,9722	1,6678	0,4481	0,52586	158	2,7576	1,9633	0,8092	1,19151
114	1,9897	1,6773	0,4554	0,53807	159	2,7751	1,9665	0,8178	1,20835
115	2,0071	1,6868	0,4627	0,55041	**160**	2,7925	1,9696	0,8264	1,12525
116	2,0246	1,6961	0,4701	0,56289	161	2,8100	1,9726	0,8350	1,24221
117	2,0420	1,7053	0,4775	0,57551	162	2,8274	1,9754	0,8436	1,25921
118	2,0595	1,7143	0,4850	0,58827	163	2,8449	1,9780	0,8522	1,27626
119	2,0769	1,7233	0,4925	0,60116	164	2,8623	1,9805	0,8608	1,29335
120	2,0944	1,7321	0,5000	0,61418	**165**	2,8798	1,9829	0,8695	1,31049
121	2,1118	1,7407	0,5076	0,62734	166	2,8972	1,9851	0,8781	1,32766
122	2,1293	1,7492	0,5152	0,64063	167	2,9147	1,9871	0,8868	1,34487
123	2,1468	1,7576	0,5228	0,65404	168	2,9322	1,9890	0,8955	1,36212
124	2,1642	1,7659	0,5305	0,66759	169	2,9496	1,9908	0,9042	1,37940
125	2,1817	1,7740	0,5383	0,68125	**170**	2,9671	1,9924	0,9128	1,39671
126	2,1991	1,7820	0,5460	0,69505	171	2,9845	1,9938	0,9215	1,41404
127	2,2166	1,7899	0,5538	0,70897	172	3,0020	1,9951	0,9302	1,43140
128	2,2340	1,7976	0,5616	0,72301	173	3,0194	1,9963	0,9390	1,44878
129	2,2515	1,8052	0,5695	0,73716	174	3,0369	1,9973	0,9477	1,46617
130	2,2689	1,8126	0,5774	0,75144	**175**	3,0543	1,9981	0,9564	1,48359
131	2,2864	1,8199	0,5853	0,76584	176	3,0718	1,9988	0,9651	1,50101
132	2,3038	1,8271	0,5933	0,78034	177	3,0892	1,9993	0,9738	1,51845
133	2,3213	1,8341	0,6013	0,79497	178	3,1067	1,9997	0,9825	1,53589
134	2,3387	1,8410	0,6093	0,80970	179	3,1241	1,9999	0,9913	1,55334
135	2,3562	1,8478	0,6173	0,82454	**180**	3,1416	2,0000	1,0000	1,57080

Въ обратномъ случаѣ, когда дана длина дуги слѣдуетъ разность отъ вычитанія ближайшаго меньшаго числа изъ даннаго числа умножить на 60 и раздѣлить на табличную разность чиселъ, между которыми находится данное число.

Градусы	Синусъ. 0′	10′	20′	30′	40′	50′		Градусы	Косинусъ. 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	89	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	88	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	87	2	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	86	3	0,999	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	86
4	0,070	0,073	0,076	0,078	0,081	0,084	**85**	4	0,998	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	**85**
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	84	5	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	84
6	0,105	0,107	0,110	0,113	0,116	0,119	83	6	0,995	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	83
7	0,122	0,125	0,128	0,131	0,133	0,136	82	7	0,993	0,992	0,992	0,991	0,991	0,991	82
8	0,139	0,142	0,145	0,148	0,151	0,154	81	8	0,990	0,990	0,989	0,989	0,989	0,988	81
9	0,156	0,159	0,162	0,165	0,168	0,171	**80**	9	0,988	0,987	0,987	0,986	0,986	0,985	**80**
10	0,174	0,177	0,179	0,182	0,185	0,188	79	10	0,985	0,984	0,984	0,983	0,983	0,982	79
11	0,191	0,194	0,197	0,199	0,202	0,205	78	11	0,982	0,981	0,981	0,980	0,979	0,979	78
12	0,208	0,211	0,214	0,216	0,219	0,222	77	12	0,978	0,978	0,977	0,976	0,976	0,975	77
13	0,225	0,228	0,231	0,233	0,236	0,239	76	13	0,974	0,974	0,973	0,972	0,972	0,971	76
14	0,242	0,245	0,248	0,250	0,253	0,256	**75**	14	0,970	0,970	0,969	0,968	0,967	0,967	**75**
15	0,259	0,262	0,264	0,267	0,270	0,273	74	15	0,966	0,965	0,964	0,964	0,963	0,962	74
16	0,276	0,278	0,281	0,284	0,287	0,290	73	16	0,961	0,960	0,960	0,959	0,958	0,957	73
17	0,292	0,295	0,298	0,301	0,303	0,306	72	17	0,956	0,955	0,955	0,954	0,953	0,952	72
18	0,309	0,312	0,315	0,317	0,320	0,323	71	18	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,946	71
19	0,326	0,329	0,331	0,334	0,337	0,339	**70**	19	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942	0,941	**70**
20	0,342	0,345	0,347	0,350	0,353	0,356	69	20	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	69
21	0,358	0,361	0,364	0,367	0,369	0,372	68	21	0,934	0,933	0,931	0,930	0,929	0,928	68
22	0,375	0,377	0,380	0,383	0,385	0,388	67	22	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922	67
23	0,391	0,393	0,396	0,399	0,401	0,404	66	23	0,921	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	66
24	0,407	0,409	0,412	0,415	0,417	0,420	**65**	24	0,914	0,912	0,911	0,910	0,909	0,908	**65**
25	0,423	0,425	0,428	0,431	0,433	0,436	64	25	0,906	0,905	0,904	0,903	0,901	0,900	64
26	0,438	0,441	0,444	0,446	0,449	0,451	63	26	0,899	0,898	0,896	0,895	0,894	0,892	63
27	0,454	0,457	0,459	0,462	0,464	0,467	62	27	0,891	0,890	0,888	0,887	0,886	0,884	62
28	0,469	0,472	0,475	0,477	0,480	0,482	61	28	0,883	0,882	0,880	0,879	0,877	0,876	61
29	0,485	0,487	0,490	0,492	0,495	0,497	**60**	29	0,875	0,873	0,872	0,870	0,869	0,867	**60**
30	0,500	0,503	0,505	0,508	0,510	0,513	59	30	0,866	0,865	0,863	0,862	0,860	0,859	59
31	0,515	0,518	0,520	0,522	0,525	0,527	58	31	0,857	0,856	0,854	0,853	0,851	0,350	58
32	0,530	0,532	0,535	0,537	0,540	0,542	57	32	0,848	0,847	0,845	0,843	0,842	0,840	57
33	0,545	0,547	0,550	0,552	0,554	0,557	56	33	0,839	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	56
34	0,559	0,562	0,564	0,566	0,569	0,571	**55**	34	0,829	0,827	0,826	0,824	0,822	0,821	**55**
35	0,574	0,576	0,578	0,581	0,583	0,585	54	35	0,819	0,817	0,816	0,814	0,812	0,811	54
36	0,588	0,590	0,592	0,595	0,597	0,599	53	36	0,809	0,807	0,806	0,804	0,802	0,800	53
37	0,602	0,604	0,606	0,609	0,611	0,613	52	37	0,799	0,797	0,795	0,793	0,792	0,790	52
38	0,616	0,618	0,620	0,623	0,625	0,627	51	38	0,788	0,786	0,784	0,783	0,781	0,779	51
39	0,629	0,632	0,634	0,636	0,638	0,641	**50**	39	0,777	0,775	0,773	0,772	0,770	0,768	**50**
40	0,643	0,645	0,647	0,649	0,652	0,654	49	40	0,766	0,764	0,762	0,760	0,759	0,757	49
41	0,656	0,658	0,660	0,663	0,665	0,667	48	41	0,755	0,753	0,751	0,749	0,747	0,745	48
42	0,669	0,671	0,673	0,676	0,678	0,680	47	42	0,743	0,741	0,739	0,737	0,735	0,733	47
43	0,682	0,684	0,686	0,688	0,690	0,693	46	43	0,731	0,729	0,727	0,725	0,723	0,721	46
44	0,695	0,697	0,699	0,701	0,703	0,705	**45**	44	0,719	0,717	0,715	0,713	0,711	0,709	**45**
45	0,707						44	45	0,707						44
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	G.		60′	50′	40′	30′	20′	10′	G.
	Косинусъ.								Синусъ.						

Таблица.

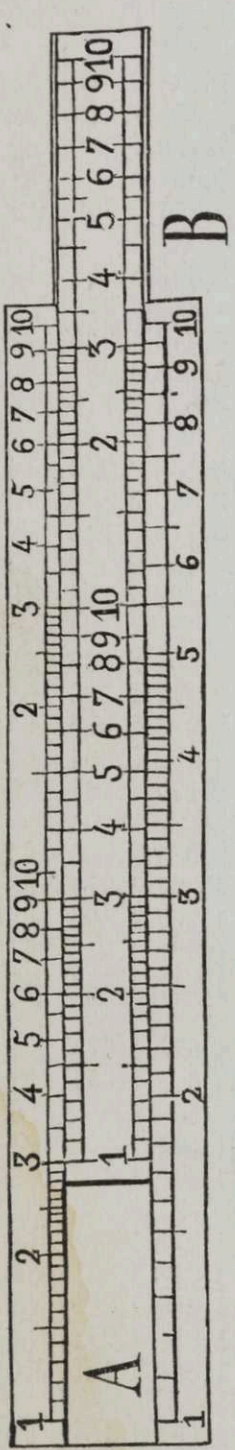
Град.	Тангенсъ. 0′	10′	20′	30′	40′	50′		Град.	Котангенсъ. 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	89	0	∞	343,8	171,9	114,6	85,94	68,75	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	88	1	57,29	49,10	42,96	38,19	34,37	31,24	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	87	2	28,64	26,43	24,54	22,90	21,47	20,21	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	86	3	19,08	18,07	17,17	16,35	15,60	14,92	86
4	0,070	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085	85	4	14,30	13,73	13,20	12,71	12,25	11,83	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	84	5	11,43	11,06	10,71	10,39	10,08	9,788	84
6	0,105	0,108	0,111	0,114	0,117	0,120	83	6	9,514	9,255	9,010	8,777	8,556	8,345	83
7	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138	82	7	8,144	7,953	7,770	7,596	7,429	7,269	82
8	0,141	0,144	0,146	0,149	0,152	0,155	81	8	7,115	6,968	6,827	6,691	6,561	6,435	81
9	0,158	0,161	0,164	0,167	0,170	0,173	80	9	6,314	6,197	6,084	5,976	5,871	5,769	80
10	0,176	0,179	0,182	0,185	0,188	0,191	79	10	5,671	5,576	5,485	5,396	5,309	5,226	79
11	0,194	0,197	0,200	0,203	0,206	0,210	78	11	5,145	5,066	4,989	4,915	4,843	4,773	78
12	0,213	0,216	0,219	0,222	0,225	0,228	77	12	4,705	4,638	4,574	4,511	4,449	4,390	77
13	0,231	0,234	0,237	0,240	0,243	0,246	76	13	4,331	4,275	4,219	4,165	4,113	4,061	76
14	0,249	0,252	0,256	0,259	0,262	0,265	75	14	4,011	3,962	3,914	3,867	3,821	3,776	75
15	0,268	0,271	0,274	0,277	0,280	0,284	74	15	3,732	3,689	3,647	3,606	3,566	3,526	74
16	0,287	0,290	0,293	0,296	0,299	0,303	73	16	3,487	3,450	3,412	3,376	3,340	3,305	73
17	0,306	0,309	0,312	0,315	0,318	0,322	72	17	3,271	3,237	3,204	3,172	3,140	3,108	72
18	0,325	0,328	0,331	0,335	0,338	0,341	71	18	3,078	3,047	3,018	2,989	2,960	2,932	71
19	0,344	0,348	0,351	0,354	0,357	0,361	70	19	2,904	2,877	2,850	2,824	2,798	2,773	70
20	0,364	0,367	0,371	0,374	0,377	0,381	69	20	2,747	2,723	2,699	2,675	2,651	2,628	69
21	0,384	0,387	0,391	0,394	0,397	0,401	68	21	2,605	2,583	2,560	2,539	2,517	2,496	68
22	0,404	0,407	0,411	0,414	0,418	0,421	67	22	2,475	2,455	2,434	2,414	2,394	2,375	67
23	0,424	0,428	0,431	0,435	0,438	0,442	66	23	2,356	2,337	2,318	2,300	2,282	2,264	66
24	0,445	0,449	0,452	0,456	0,459	0,463	65	24	2,246	2,229	2,211	2,194	2,177	2,161	65
25	0,466	0,470	0,473	0,477	0,481	0,484	64	25	2,145	2,128	2,112	2,097	2,081	2,066	64
26	0,488	0,491	0,495	0,499	0,502	0,506	63	26	2,050	2,035	2,020	2,006	1,991	1,977	63
27	0,510	0,513	0,517	0,521	0,524	0,528	62	27	1,963	1,949	1,935	1,921	1,907	1,894	62
28	0,532	0,535	0,539	0,543	0,547	0,551	61	28	1,881	1,868	1,855	1,842	1,829	1,816	61
29	0,554	0,558	0,562	0,566	0,570	0,573	60	29	1,804	1,792	1,780	1,767	1,756	1,744	60
30	0,577	0,581	0,585	0,589	0,593	0,597	59	30	1,732	1,720	1,709	1,698	1,686	1,675	59
31	0,601	0,605	0,609	0,613	0,617	0,621	58	31	1,664	1,653	1,643	1,632	1,621	1,611	58
32	0,625	0,629	0,633	0,637	0,641	0,645	57	32	1,600	1,590	1,580	1,570	1,560	1,550	57
33	0,649	0,654	0,658	0,662	0,666	0,670	56	33	1,540	1,530	1,520	1,511	1,501	1,492	56
34	0,675	0,679	0,683	0,687	0,692	0,696	55	34	1,483	1,473	1,464	1,455	1,446	1,437	55
35	0,700	0,705	0,709	0,713	0,718	0,722	54	35	1,428	1,419	1,411	1,402	1,393	1,385	54
36	0,727	0,731	0,735	0,740	0,744	0,749	53	36	1,376	1,368	1,360	1,351	1,343	1,335	53
37	0,754	0,758	0,763	0,767	0,772	0,777	52	37	1,327	1,319	1,311	1,303	1,295	1,288	52
38	0,781	0,786	0,791	0,795	0,800	0,805	51	38	1,280	1,272	1,265	1,257	1,250	1,242	51
39	0,810	0,815	0,819	0,824	0,829	0,834	50	39	1,235	1,228	1,220	1,213	1,206	1,199	50
40	0,839	0,844	0,849	0,854	0,859	0,864	49	40	1,192	1,185	1,178	1,171	1,164	1,157	49
41	0,869	0,874	0,880	0,885	0,890	0,895	48	41	1,150	1,144	1,137	1,130	1,124	1,117	48
42	0,900	0,906	0,911	0,916	0,922	0,927	47	42	1,111	1,104	1,098	1,091	1,085	1,079	47
43	0,933	0,938	0,943	0,949	0,955	0,960	46	43	1,072	1,066	1,060	1,054	1,048	1,042	46
44	0,966	0,971	0,977	0,983	0,986	0,994	45	44	1,036	1,030	1,024	1,018	1,012	1,006	45
45	1,000						44	45	1,000						44
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	Гр.		60′	50′	40′	30′	20′	10′	Гр.
	Котангенсъ.								Тагненсъ.						

Если должно по тригонометрической таблицѣ опредѣлить величину для угла, который данъ въ минутахъ, то поступаютъ какъ прежде, — только теперь интерполируютъ по десятичнымъ дробямъ

$$\sin 33^0\ 27' —$$
$$\sin 33^0\ 30' = 0{,}552$$
$$\sin 33^0\ 20' = 0{,}550$$

$$\text{Разность } 0{,}002 \cdot {}^7/_{10} = 0{,}0014$$
$$\sin 33^0\ 27' = 0{,}550 + 0{,}0014$$

Такимъ же образомъ слѣдуетъ поступать въ обратномъ случаѣ, чтобы изъ заданнаго числа опредѣлить уголъ въ минутахъ.



7. Счетная линейка.

Счетная линейка (изобрѣтенная въ 1625 Гунтеромъ) есть графическое изображеніе таблицы логариѳмовъ; обыкновенно она имѣетъ длину 0,26 или 0,13 м. Она состоитъ изъ двухъ линеекъ A и B (фиг. 1), изъ которыхъ одна B, называемая передвижкою, можетъ перемѣщаться во второй A Обѣ линейки имѣютъ одинаковую длину и снабжены одинаковыми дѣленіями; эти дѣленія пропорціональны длинамъ логариѳмовъ чиселъ отъ 1 до 100. Дѣленія помѣчены числами, которымъ онѣ соотвѣтствуютъ; 1 находится въ началѣ, потому что $\log. 1 = 0$.

Заставляя скользить передвижку, мы въ сущности будемъ складывать или вычитать логариѳмы одни изъ другихъ и прямо читаемъ по цыфрамъ дѣленій результатъ этихъ дѣйствій. Такъ напримѣръ, при нарисованномъ положеніи мѣтка 1 на передвижкѣ приходится противъ 3 на линейкѣ; это значитъ, что логариѳмъ 3 прикладывается къ числамъ, которыя читаемъ на передвижкѣ, такъ что числа, прочитанныя визави на линейкѣ, суть произведенія на 3 чиселъ на передвижкѣ; читая 4 на передвижкѣ, находимъ на линейкѣ 12; противъ 9 читаемъ 27 и такъ далѣе. Наоборотъ, фигура представляетъ также дѣленіе 9 (на лимейкѣ) на 3 на передвижкѣ или 21 на 7 и т. д; частное 3 находится визави мѣтки 1.

Можно также складывать или вычитать разности логариѳмовъ, что приводитъ къ умноженію на количества вида $m:n$, не прибѣгая къ промежуточнымъ операціямъ. Такъ напр. 12 (7 : 4) читается съ одного пріема; надо поставить 12 (на A) противъ 4 (на B) и искать на A число, соотвѣтствующее 7 на B.

Нижній масштабъ линейки A, дѣленія коего вдвое длиннѣе, представляетъ логариѳмы квадратовъ чиселъ, что позволяетъ прямо (безъ вычисленія) вводить ихъ въ дѣйствія, такъ же какъ и корни квадратные. Этотъ масштабъ служитъ и для вычисленія кубовъ и корней кубическихъ.

На обратной сторонѣ передвижки находятся другіе масштабы, дающіе числовыя величины логариѳмовъ, натуральныхъ синусовъ и тангенсовъ.

Чтеніе чиселъ дѣлается легко до 0,001; приблизительность вычисленія зависитъ отъ навыка; она всегда бываетъ достаточна для обыкновенныхъ случаевъ практики. Счетная линейка позволяетъ моментально дѣлать сложныя вычисленія или предпринимать такія работы, предъ которыми отступаютъ при обыкновенныхъ средствахъ по причинѣ ихъ длинноты, какъ напримѣръ построеніе спеціальныхъ таблицъ, рѣшеніе уравненій высшихъ степеней или трансцендентныхъ и т. д. Она неоцѣнима въ мастерскихъ и на работахъ *).

*) Чтобы научиться владѣть счетною линейкой, весьма полезно знать различныя комбинаціи, впрочемъ, весьма простыя, которыя значительно ускоряютъ вычисленія. Объ этомъ смотри: Теорія и употребленіе карманной счетной линейки инженера М. М. Черепашинскаго, профессора въ Императорскомъ Московскомъ Техническомъ Училищѣ. 1883 г. Въ этой линейкѣ для облегченія чтенія результатовъ служитъ металлическая указка (бѣгунъ) передвигаемая вдоль линейки, показатель которой устанавливаются на требуемомъ мѣстѣ. Верхнее дѣленіе линейки, обозначенное буквою L даетъ логариѳмы чиселъ, находящихся визави на дѣленіи Если напр. показатель указки поставимъ на число 3,5 на A, то ея показатель на L укажетъ логариѳмъ этого числа, который равенъ 0,544.

8. Различныя таблицы мѣръ и вѣса.

Таблица удѣльнаго вѣса.

1. ТВЕРДЫЯ ТѢЛА (вода при 4° Цельсія = 1).

Алебастръ	2,7
переплавленный	2,56
Алюминій прокованный	2,67
Антимоній	6,65—6,72
Асфальтъ	1,07—1,16
Базальтъ	2,8
Строевой камень средн. числ.	2,5
Свинецъ	11,4
Бурый уголь	1,2
Бронза	8,3—8,6
Коксъ	1,4
„ въ кучахъ, содержащій промежутки	0,55
Ледъ (при 0°)	0,92
Желѣзо литое	7,0—7,5
„ кованое	7,6—7,79
Земля:	
глинистая свѣжая	2,1
сухая	1,9
тощая сухая	1,3
Полевой камень средн. числ.	2,5
Гипсъ, литой, сухой	0,97
Стекло:	
оконное	2,64
зеркальное	2,46
хрусталь	2,89
флинтглясъ	3,33
Колокольный металлъ	8,8
Золото: литое	35,26
„ кованое	18,6—19,1
Гранитъ	2,8
Каучукъ вулканизованный	1,25—1,75
Дерево воздушносухое,	
кленъ	0,67
яблоня	0,73
груша	9,74
букъ	0,75
буксъ	0,94
эбенъ: зеленый	1,21
„ черный	1,19
дубъ	0,69
„ свѣжій	0,97
ольха	0,5
ясень	0,67
пихта	0,47
сосна	0,65
Дерево воздушносухое:	
сосна свѣжая	0,91
пробковое	0,24
лиственница	0,52
липа	0,56
красное	0,75
орѣхъ	0,66
тополь	0,38—0,47
бакаутъ	1,26
ель	0,56
„ свѣжая	0,89
Известнякъ	2,45
Каучукъ	0,93
Поваренная соль	2,2
Мѣлъ	2,7
Мѣдь: литая	8,75
„ кованая	8,78—9,0
Глина тощая и сухая до жирной и свѣжей	1,52—2,85
Мраморъ	2,52—2,85
Каменная кладка:	
бутовая	2,40—2,46
песчаниковая	2,05—2,12
кирпичная	1,47—1,70
Латунь	8,55
Платина	22,7
Кварцъ	2,62
Песокъ, обыкновенный, сухой	1,64
Песчаникъ	2,35
Сланецъ	2,67
Серебро: литое	10,10—10,47
„ кованое	10,51—10,62
Сталь: цементнал	7,26—7,80
„ кричная	7,5—7,8
„ литая	7,83—7,92
Каменный уголь	1,21—1,51
„ „ кенельскій	1,42
„ „ въ кучахъ, со включеніемъ промежутковъ	
въ мелк. кускахъ	0,85—0,95
въ крупн. кускахъ	0,95—1,05
Висмутъ	9,83
Кирпичъ	1,4—2,2
Цинкъ: литой	6,80
„ прокатный	7,20
Олово	7,29

2. ЖИДКІЯ ТѢЛА.

Эфиръ при 20° Ц.	0,716
Алькоголь, абс. при 20° Ц.	0,792
Пиво	1,03
Молоко	1,030
Масло: льняное	0,940
„ рѣпное	0,914
Ртуть при 20°	13,596
Азотная кислота конц.	1,500
Соляная кислота конц.	1,200
Сѣрнистый углеродъ	1,263
Сѣрная кислота конц.	1,850
Морская вода	1,027
Вино	0,99—1,0

3. ГАЗООБРАЗНЫЯ ТѢЛА, при 0° Цельсія, атмосферный воздухъ = 1.

Амміакъ	0,596	Рудничный газъ	0,559
Хлоръ	2,470	Кислородъ	1,106
Окись углерода	0,967	Азотъ	0,972
Углекислота	1,529	Каменоугольный газъ	0,48—0,51
Углеродистый водородъ (маслородъ)	0,978	Водяной паръ при 100°	0,47
		Водородъ	0,0692

Плотность воздуха по отношенію къ водѣ = 0,0013.

Вѣсъ одного куб. метра твердаго или жидкаго тѣлъ въ килограммахъ равенъ 1000-кратн му удѣльному вѣсу; вѣсъ одного куб. метра газообразнаго тѣла равенъ 1.3-кратному удѣльному вѣсу онаго.

Сравнительная таблица давленій на погонную единицу.

Франція, клгр. на пог. м.	1	1,4882	53,7434	1,3435
Англія, фунтъ на погон. футъ	0,6719	1	36,1130	0,9028
Россія, пуды на погон. футъ	0,0186	0,0277	1	0,0250
Россія, фунты на погон. футъ	0,7442	1,1076	40,0000	1

Сравнительная таблица давленій на единицу площади.

Франція, клгр. на кв. сантиметръ	1	2,53912	0,06348	0,07031
Россія, пуды на кв. дюймъ	0,3938	1	0,02500	0,02769
Россія, фунты на кв. дюймъ	15,7536	40,0000	1	1,10763
Англія, фунты на кв. дюймъ	14,2226	36,1130	0,90283	1

1) Плоское желѣзо.

Вѣсъ погоннаго метра въ килограммахъ.

Толщина въ мм.	Ширина въ мм.									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
4	0,312	0,467	0,623	0,779	0,935	1,091	1,249	1,402	1,558	1,714
5	0,390	0,584	0,789	0,974	1,169	1,363	1,558	1,753	1,948	2,142
6	0,467	0,701	0,935	1,169	1,402	1,636	1,870	2,103	2,337	2,571
7	0,545	0,818	1,091	1,363	1,636	1,909	2,181	2,454	2,727	2,999
8	0,623	0,935	1,246	1,558	1,870	2,181	2,493	2,804	3,116	3,428
9	0,701	1,051	1,402	1,753	2,103	2,454	2,804	3,155	3,506	3,856
10	0,779	1,169	1,558	1,948	2,337	2,727	3,116	3,506	3,895	4,285
11	0,856	1,285	1,714	2,142	2,571	2,999	3,428	3,856	4,285	4,713
12	0,935	1,402	1,870	2,337	2,804	3,272	3,739	4,207	4,674	5,141
13	1,013	1,519	2,025	2,532	3,038	3,544	4,051	4,557	5,064	5,570
14	1,091	1,636	2,181	2,727	3,270	3,817	4,362	4,908	5,453	5,998
15	1,169	1,753	2,337	2,921	3,506	4,090	4,674	5,258	5,843	6,420
16	1,246	1,870	2,493	3,116	3,739	4,362	4,986	5,609	6,232	6,855
17	1,324	1,986	2,649	3,311	3,973	4,635	5,297	5,959	6,622	7,284
18	1,402	2,103	2,804	3,506	4,207	4,908	5,609	6,310	7,011	7,712
19	1,480	2,220	2,960	3,700	4,440	5,180	5,920	6,660	7,401	8,141
20	1,558	2,337	3,116	3,895	4,674	5,453	6,232	7,011	7,790	8,569
21	1,636	2,454	3,272	4,090	4,907	5,726	6,544	7,362	8,180	8,997
22	1,714	2,571	3,428	4,285	5,141	5,998	6,855	7,712	8,569	9,426
23	1,792	2,688	3,585	4,479	5,375	6,271	7,167	8,063	8,959	9,854
24	1,870	2,804	3,739	4,674	5,609	6,544	7,478	8,413	9,348	10,28
25	1,948	2,921	3,895	4,869	5,843	6,816	7,790	8,764	9,738	10,71
26	2,025	3,038	4,051	5,064	6,076	7,089	8,102	9,114	10,13	11,14
27	2,103	3,155	4,207	5,258	6,310	7,362	8,413	9,465	10,52	11,57
28	2,181	3,272	4,422	5,453	6,544	7,634	8,725	9,815	10,91	12,00
29	2,259	3,389	4,518	5,648	6,777	7,907	9,036	10,17	11,30	12,43
30	2,337	3,506	4,674	5,843	7,011	8,180	9,348	10,52	11,69	12,86
35	2,727	4,090	5,453	6,816	8,180	9,543	10,91	12,27	13,63	14,99
40	3,116	4,674	6,232	7,790	9,348	10,91	12,46	14,02	15,58	17,14
45	3,506	5,258	7,011	8,764	10,52	12,27	14,02	15,77	17,53	19,28
50	4,895	5,843	7,790	9,738	11,69	13,63	15,58	17,53	19,48	21,42

2) Квадратное и круглое желѣзо.

а) Вѣсъ погоннаго метра въ килограммахъ.

Толщина или діаметръ въ мм.	□ желѣзо.	○ желѣзо.	Толщина или діаметръ въ мм.	□ желѣзо.	○ желѣзо.	Толщина или діаметръ въ мм.	□ желѣзо.	○ желѣзо.	Толщина или діаметръ въ мм.	□ желѣзо.	○ желѣзо.
5	0,195	0,153	24	4,481	3,520	43	14,39	11,30	110	93,14	73,94
6	0,280	0,220	25	4,863	3,819	44	14,90	11,83	115	102,9	80,81
7	0,381	0,299	26	5,259	4,131	45	15,75	12,37	120	112,0	88,00
8	0,498	0,391	27	5,672	4,455	46	16,46	12,93	125	121,6	95,48
9	0,630	0,495	28	6,100	4,791	47	17,19	13,50	130	131,5	103,3
10	0,778	0,611	29	6,543	5,139	48	17,93	14,08	135	141,8	111,4
11	0,931	0,739	30	7,002	5,499	49	18,68	14,67	140	152,5	119,8
12	1,120	0,880	31	7,477	5,872	50	19,45	15,28	145	163,6	128,5
13	1,315	1,033	32	7,967	6,257	55	23,28	18,48	150	175,1	137,5
14	1,525	1,198	33	8,382	6,654	60	28,01	22,00	155	186,9	146,8
15	1,751	1,375	34	8,994	7,064	65	32,87	25,82	160	199,2	156,4
16	1,992	1,564	35	9,531	7,485	70	38,12	29,94	165	209,6	166,4
17	2,248	1,766	36	10,08	7,919	75	43,76	34,37	170	224,8	176,6
18	2,521	1,980	37	10,65	8,365	80	49,79	39,11	175	238,3	187,1
19	2,809	2,206	38	11,23	8,823	85	56,21	44,15	180	252,1	198,0
20	3,112	2,444	39	11,83	9,294	90	63,02	49,49	185	266,3	209,1
21	3,422	2,695	40	12,45	9,776	95	70,21	55,15	190	280,9	220,6
22	3,726	2,957	41	13,08	10,27	100	77,80	61,10	195	295,9	232,3
23	4,116	3,232	42	13,69	10,78	105	85,55	67,37	200	311,2	244,3

Таблица вѣса винтовъ и заклепокъ.

Вѣсъ длины болта между головкой и гайкой или между двумя головками расчитывается по предыдущей таблицѣ для квадратнаго и круглаго желѣза и къ нему прибавляется:

1. на 6-угольную головку и гайку = 7 діаметровъ болта.
2. на 4-угольную „ „ = 8 „ „
3. на 2 заклепочныя головки берутъ около 4 діаметровъ болта.

3) Равностороннее угловое желѣзо.

а) Вѣсъ въ килограммахъ на погонный метръ.

Толщина въ мм.	Ширина 100×100	Ширина 90×90	Ширина 85×85	Ширина 80×80	Ширина 75×75	Толщина въ мм.	Ширина 70×70	Ширина 65×65	Ширина 60×60	Ширина 55×55	Ширина 50×50
15	21,6	19,3	18,1	—	—	12	11,9	11,0	—	—	—
14,5	20,9	18,7	17,5	—	—	11,5	11,5	10,6	—	—	—
14	20,3	18,1	17,0	15,9	—	11	11,0	10,2	9,35	—	—
13,5	19,6	17,5	16,4	15,4	—	10,5	10,6	9,8	8,95	—	—
13	19,0	16,9	15,9	14,9	—	10	10,1	9,4	8,60	7,80	—
12,5	18,3	16,3	15,3	14,4	—	9,5	9,7	8,9	8,18	7,44	—
12	17,6	15,7	14,7	13,8	12,9	9	9,2	8,5	7,80	7,09	6,38
11,5	16,9	15,1	14,2	13,3	12,4	8,5	8,7	8,0	7,38	6,72	6,06
11	16,2	14,5	13,6	12,8	11,9	8	8,2	7,5	7,00	6,36	5,74
10,5	15,5	13,9	13,0	12,3	11,4	7,5	—	7,0	6,57	5,99	5,40
10	14,8	13,3	12,5	11,7	10,9	7	—	—	6,20	5,62	5,01
9,5	—	—	—	11,1	10,4	6,5	—	—	—	5,25	4,73
9	—	—	—	10,5	9,9	6	—	—	—	4,86	4,02
8,5	—	—	—	10,0	9,4	5,5	—	—	—	—	4,0
						5	—	—	—	—	3,6

Таблица вѣса металлическихъ листовъ.

2 кв. арш. или 1 кв. м. листа вѣситъ клгр.

Толщина въ мм.	Желѣзо.	Чугунъ.	Сталь.	Мѣдь.	Латунь.	Цинкъ.	Свинецъ.
1/4	1,94	1,81	1,97	2,22	2,14	1,72	2,7
1/2	3,89	3,63	3,93	4,45	4,27	3,45	5,8
3/4	5,84	5,44	5,90	6,68	6,41	5,18	8,6
1	**7,78**	**7,25**	**7,87**	**8,90**	**8,55**	**6,90**	**11,4**
2	15,56	14,50	15,74	17,80	17,10	13,80	22,8
3	23,34	21,75	23,61	26,70	25,65	20,70	34,2
4	31,12	29,00	31,48	35,60	34,20	27,60	45,6
5	38,90	36,25	39,35	44,50	42,75	34,50	57,0
6	46,68	42,50	47,22	53,40	51,30	41,40	68,4
7	54,46	50,75	55,09	62,30	59,85	48,30	79,8
8	62,24	58,00	62,96	71,20	68,40	55,20	91,2
9	70,02	65,25	70,83	80,10	76,95	62,10	102,6
10	77,80	72,50	78,70	89,00	85,50	69,00	114,0
11	85,58	79,75	86,57	97,90	94,05	75,00	125,4
12	93,36	87,00	94,44	106,80	102,60	82,80	136,8
13	101,14	94,25	102,31	115,70	111,15	89,70	148,2
14	108,92	101,50	110,18	124,60	119,70	96,60	159,6
15	116,70	108,75	118,05	133,50	128,25	103,50	171,0
20	155,60	145,00	157,40	178,00	171,00	138,00	228,0
25	194,50	181,25	196,75	222,50	213,75	172,50	285,0
30	233,40	217,50	236,10	267,00	256,50	207,00	342,0
35	272,30	253,75	275,45	311,50	299,25	241,50	399,0

1 прусскій квадр. футъ листоваго желѣза, 1 мм. толщиною вѣситъ 0,765 клгр.
1 англ. квадр. футъ листоваго желѣза, 1 мм. толщ. вѣситъ 0,715 клгр.
1 кв. м. листоваго желѣза, 1 мм. толщиною вѣситъ 7,78 клгр.

Таблица вѣса чугунныхъ, желѣзныхъ, мѣдныхъ, латунныхъ и свинцовыхъ трубъ.

Вѣсъ погоннаго метра въ клгр.

1. Чугунныя трубы.

Внутр. діаметръ въ мм.	Толщина стѣнокъ въ мм							
	5	10	15	20	25	30	35	40
25	3,417	7,975	13,67	20,50	28,47	37,58	47,83	59,22
30	3,987	9,113	15,38	22,78	31,32	41,00	51,81	63,77
35	4,557	10,25	17,08	25,05	34,17	44,41	55,80	68,32
40	5,126	11,39	18,79	27,33	37,01	47,83	59,78	72,88
45	5,695	12,53	20,50	29,61	39,86	51,24	63,77	77,43
50	6,254	13,67	22,21	31,85	42,70	54,66	67,75	81,98
60	7,402	15,94	25,62	36,44	48,39	61,49	75,74	91,12
70	8,540	18,22	29,04	40,99	54,10	68,34	83,71	100,2
80	9,679	20,50	32,46	45,56	59,79	75,16	91,68	109,3
90	10,82	22,78	35,88	50,11	65,49	82,00	99,65	118,4
100	11,96	25,06	39,29	54,66	71,17	88,83	107,6	127,5
125	14,80	30,75	47,83	66,04	85,40	105,9	127,5	150,3
150	17,65	36,45	56,38	77,44	99,65	123,0	147,5	173,1
175	20,50	42,14	64,91	88,83	113,8	140,0	167,4	195,9
200	23,34	47,82	73,45	100,2	128,1	157,1	187,3	218,7
225	26,19	53,53	82,00	111,6	142,3	174,2	207,3	241,4
250	29,04	59,22	90,53	122,8	156,6	191,3	227,2	264,2
275	31,89	64,92	99,8	134,3	170,8	208,4	247,2	287,0
300	34,73	70,61	107,6	145,7	185,0	225,5	267,0	309,7
325	37,58	76,30	117,1	157,2	199,3	242,5	287,0	332,6
350	40,42	82,00	124,7	168,5	213,5	259,7	307,0	355,3
375	43,28	87,72	133,2	179,9	227,8	276,6	326,8	378,2
400	46,11	93,28	141,8	191,3	241,9	293,8	346,4	400,8

2. Тянутыя жслѣзныя трубы.

Внутренній діаметръ мм.	Толщина стѣнокъ въ мм.								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0,59	0,95	1,37	1,82	2,34	2,90	3,50	4,16	4,87
15	0,83	1,32	1,85	2,44	3,07	3,75	4,48	5,26	6,09
20	1,07	1,68	2,34	3,05	3,80	4,60	5,45	6,35	7,30
25	1,32	2,05	2,83	3,65	4,53	5,45	6,43	7,45	8,52
30	1,56	2,41	3,31	4,26	5,26	6,30	7,40	8,55	9,74
40	2,05	3,14	4,29	5,48	6,72	8,01	9,35	10,73	12,18
50	2,53	3,87	5,26	6,70	8,18	9,72	11,30	12,93	14,71
60	3,02	4,59	6,23	7,92	9,64	11,42	13,25	15,12	17,05
70	3,50	5,33	7,20	9,13	11,10	13,12	15,20	17,31	19,48
80	4,00	6,06	8,18	10,35	12,57	14,83	17,14	19,50	01,92

3. Мѣдныя трубы.

мм.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,40	0,68	1,02	1,42	1,87	2,38	2,94	3,57	4,24
10	0,68	1,11	1,59	2,12	2,72	3,37	4,07	4,84	5,66
15	0,96	1,53	2,15	2,83	3,57	4,36	5,21	6,11	7,07
20	1,25	1,95	2,72	3,54	4,41	5,35	6,34	7,38	8,48
25	1,53	2,38	3,28	4,24	5,26	6,34	7,47	8,65	9,90
30	1,81	2,80	3,85	4,95	6,11	7,33	8,60	9,93	11,31
40	2,38	3,65	4,98	6,36	7,81	9,31	10,86	12,47	14,14
50	2,94	4,50	6,11	7,78	9,50	11,28	13,12	15,02	16,96
60	3,50	5,35	7,24	9,19	11,19	13,26	15,38	17,56	19,79
70	4,07	6,19	8,37	10,60	12,89	15,24	17,65	20,11	22,62

4. Латунныя трубы.

мм.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0,64	1,03	1,48	1,98	2,54	3,14	3,80	4,52	5,28
13	0,79	1,27	1,80	2,38	3,01	3,70	4,44	5,23	6,07
15	0,60	1,43	2,01	2,64	3,33	4,07	4,86	5,70	6,60
20	1,16	1,82	2,54	3,30	4,12	5,00	5,91	6,89	7,92
25	1,43	2,22	3,06	3,96	4,92	5,91	6,97	8,08	9,24
30	1,69	2,62	3,59	4,62	5,71	6,84	8,02	9,27	10,56
40	2,22	3,41	4,65	5,94	7,29	8,69	10,14	11,64	13,20
50	2,75	4,20	5,70	7,26	8,87	10,53	12,25	14,02	15,84
60	3,28	4,99	6,76	8,58	10,46	12,38	14,36	16,39	18,48
70	3,80	5,78	7,81	9,90	12,04	14,23	16,47	18,77	21,11

5. Свинцовыя трубы.

мм.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0,86	1,39	2,00	2,68	3,43	4,25	5,14	6,10	7,13
13	1,07	1,71	2,43	3,21	4,07	5,00	6,00	7,06	8,20
15	1,21	1,93	2,71	3,57	4,50	5,50	6,57	7,71	8,91
20	1,57	2,46	3,43	4,46	5,57	6,74	8,00	9,31	10,70
25	1,93	3,00	4,14	5,35	6,63	7,98	9,42	10,91	12,48
30	2,28	3,53	4,85	6,24	7,70	9,24	10,85	12,52	14,26
40	3,00	4,60	6,28	8,03	9,84	11,73	13,70	15,73	17,83
50	3,71	5,67	7,71	9,81	11,98	14,23	16,55	18,94	21,39
60	4,42	6,74	9,13	11,59	14,12	16,73	19,41	22,15	24,96
70	5,14	7,81	10,56	13,37	16,26	19,22	22,26	25,36	28,52

Таблица вѣса чугунныхъ шаровъ.

Діаметръ мм.	Вѣсъ клгр.	Діаметръ мм.	Вѣсъ клгр.	Діаметръ мм.	Вѣсъ клгр.
25	0,06	65	1,04	125	7,4
30	0,10	70	1,30	150	12,8
35	0,16	75	1,60	175	20,3
40	0,24	80	1,94	200	30,3
45	0,34	85	2,32	225	43,2
50	0,47	90	2,76	250	59,3
55	0,63	100	3,79	275	78,9
60	0,81	110	5,04	300	102,4

Таблица для превращенія уклоновъ на метръ въ градусы круга = 360°.

Уклонъ на метръ.	Наклонъ въ градусахъ.	Уклонъ на метръ.	Наклонъ въ градусахъ.	Уклонъ на метръ.	Наклонъ въ градусахъ.	Уклонъ на метръ.	Наклонъ въ градусахъ.
метр.		метр.		метр.		метр.	
0,005	0°17′10″	0,045	2°34′40″	0,080	4°34′30″	0,115	6°33′40″
0,010	0 35 0	0,050	2 51 40	0,085	4 51 30	0,120	6 50 30
0,015	0 51 30	0,055	3 8 50	0,090	5 8 30	0,125	7 7 30
0,020	1 8 40	0,060	3 26 0	0,095	5 25 30	0,130	7 24 20
0,025	1 26 0	0,065	3 43 10	0,100	5 42 30	0,135	7 41 20
0,030	1 43 01	0,070	4 0 20	0,105	5 59 30	0,140	7 58 10
0,035	2 0 20	0,075	4 17 20	0,110	6 16 30	0,145	8 15 5
0,040	2 17 30					0,150	8 31 50

Превращеніе угловыхъ наклоновъ въ метрическіе уклоны.

Наклонъ въ градусахъ.	Уклонъ на метръ.	Наклонъ въ градусахъ.	Уклонъ на метръ.	Наклонъ въ градусахъ.	Уклонъ на метръ.	Наклонъ въ градусахъ.	Уклонъ на метръ.
	метр.		метр.		метр.		метр.
0°15′	0,00436	3°30′	0,06116	10°	0,17633	26°	0,48773
0 30	0,00873	4 00	0,06993	12	0,21256	28	0,53171
0 45	0,01309	4 30	0,07870	14	0,24933	30	0,57735
0 60	0,01746	5 00	0,08749	16	0,28675	32	0,62487
1 30	0,02618	6 00	0,10510	18	0,32492	34	0,67451
2 00	0,03492	7 00	0,12278	20	0,36397	36	0,72654
2 30	0,04366	8 00	0,14054	22	0,40403	38	0,78129
3 00	0,05241	9 00	0,15838	24	0,44523	40	0,83910

Таблицы для взаимнаго перевода русскихъ и метрическихъ мѣръ *).

I. Погонныя или линейныя мѣры.

Са-жени.	Футы (а	Дюймы нглійск	Линіи ie).	Ар-шины	Верш-ки	Километ	Метры.	Деци-метры.	Санти-метры.
500	3500	42000	420000	1500	24000	1,077	1077	10770	107700
1	7	84	840	3	48	0,00213	2,134	21,34	213,4
0,1429	1	12	120	0,4286	6,857	0,000305	0,3048	3,05	30,5
0,0119	0,0833	1	10	0,0357	0,5714	0,0000254	0,0254	0,254	2,54
0,00119	0,833	0·1	1	0,00357	0,0571	-	0,00254	0,0254	0,254
0,3333	2,333	28	280	1	16	0,000711	0,7112	7,112	71,12
0,0208	0,146	1,75	17,5	0,0635	1	—	0,0144	0,444	4,445
468,7	3280,9	30371	303708	1406,1	22497	1	1000	10000	100000
0,469	3,281	39,37	303,7	1,406	22,5	0,001	1	10	100
0,0469	0,328	3,037	30,37	0,141	2,25	0,0001	0,1	1	10
0,00469	0,0328	0,304	3,04	0,0141	0,225	—	0,01	0,1	1

1 миллиметръ = 0,1 сантим., = 0,01 дециметр. = 0,001 метр.
1 миля = 7 верст. = 3500 саж. = 7,539 килом. = 7539 метр.
1 верста = 500 саж. = 1500 аршин.
1 километръ = 0,9374 верст.
1 гектометръ = 100 метрамъ = 46,9 саж.

Примѣчаніе. 1 ярдъ = 3 футамъ = 0,91438 метр.
1 метръ = 3,28 фут. = 1,09406 ярд.

*) Эти таблицы заимствованы изъ брошюры Черепашинскаго: Теорія и употребленіе карманной счетной линейки. 1883.

II. Квадратныя мѣры.

Десятины.	Сажени.	Футы (англійскія).	Дюймы	Линіи	Аршины	Вершки.	Эктары.	Ары.	Метры.	Деци-метры.	Санти-метры.	Милли-метры.
1	2400	117600	—	—	21600	—	1,093	109,3	10925	—	—	—
0,000417	1	49	7056	705600	9	2304	0,000455	0,0455	4,552	455,2	45521	—
—	0,02051	1	144	14400	0,1837	47	0. —	0,00093	0,093	9,297	929,7	—
—	—	0,00694	1	100	0,00127	0,327	—	—	0,000646	0,0646	6,46	646
—	—	0,00007	0,01	1	0,000013	0,0326	—	—	—	0,00065	0,0646	6,46
0,00005	0,1111	5,444	784	78399	1	256	—	0,00506	1,5058	50,58	5058	—
—	0,000434	0,0213	3,063	306,3	0,00391	1	—	—	0,00198	0,1976	19,76	1976
0,9153	2197	—	—	—	19771	—	1	100	10000	—	—	—
0,00965	21,97	1076	—	—	197,71	—	0,01	1	100	10000	—	—
—	0,2197	10,76	1550	—	1,977	506,1	0,0001	0,01	1	100	10000	—
—	0,0022	0,108	15,5	1550	0,0198	5,061	—	0,0001	0,01	1	100	10000
—	—	0,00108	0,155	15,5	0,000198	0,0506	—	—	0,0001	0,01	1	100
—	—	—	0,0016	0,155	—	0,00051	—	—	—	0,0001	0,01	1

1 квадр. ярдъ = 9 кв. фут. = 0,836097 кв. метр.
1 анг. экръ = 0,37041 рус. десятин. = 0,40467 эктар.
1 кв. верста = 104,1667 десятин.; 100 десятинъ = 0,96 кв. верст.

1 гектолитръ на эктаръ = 4,1639 четверик. на десят. = 8,8837 ведр.
100 килограм. на эктаръ = 6,6694 пуда на десятину.
1 галлонъ на экръ = 0,9973 ведр. на десятину = 0,4675 четверик.

III. Кубичныя мѣры.

Бочка.	Ведро.	Штофъ.	Чарка.	Четверть.	Четверикъ.	Гарнецъ.	Саженъ.	Англійскіе. Футъ.	Англійскіе. Дюймъ.	Аршинъ.	Вершокъ.	Стеръ.	Гектолитръ.	Декалитръ.	Литръ.
1	40	400	4000	2,344	18,75	157,6	0,0508	17,374	—	1,368	5602	0,492	4,92	49,199	492
0,025	1	10	100	0,0586	0,4688	3,69	0,00127	0,4344	750,6	0,0342	140,05	0,0123	0,123	1,23	12,3
0 0025	0,1	1	10	0,00586	0,0469	0,369	0,00013	0,0434	75,06	0,0034	14,005	0,00123	0,0123	0,123	1,23
0,00025	0,01	0,1	1	0,00049	0,0047	0,037	—	0,00434	7,51	0,00034	1,401	0,00012	0,00123	0,0123	0,123
0,4266	17,07	170,7	1707	1	8	64	0,0216	7,413	—	0,5835	2390	0,2099	2,099	20,99	209,9
0,0533	2,133	21,33	213,3	0,125	1	8	0,0027	0,9266	1601	0,073	298,8	0,0262	0,2624	2,624	26,24
0,00667	0,2677	2,667	26,67	0,0156	0,125	1	0,00034	0,1158	200,2	0,00912	37,35	0,00328	0,0328	0,0033	0,00033
19,74	789,7	7897	—	46,27	370,2	2961	1	343	—	27	—	9,712	97,12	971,2	9712
0,0576	2,302	23,02	230,2	0,1349	1,079	8,633	0,00292	1	1728	0,0787	322,4	0,0283	0,2831	2,831	28,31
—	0,0013	0,01332	0,1332	—	0,00062	0,005	—	0,00058	1	—	0,1866	—	0,000164	0,00164	0,0164
0,731	29,25	292,5	2924,7	1,714	13,71	109,7	0,037	12,704	—	1	4096	0,3509	3,509	35,09	350,9
—	0,00713	0,0713	0,7133	0,00042	0,00335	0,0268	—	0,0031	5,36	0,000244	1	—	0,00088	0,0088	0,0878
2,033	81,31	813,08	8131	4,764	38,11	304,9	0,103	35,32	—	2,78	11387	1	10	100	1000
0,2033	8,131	81,31	813,1	0,476	3,811	0,305	0,0103	3,532	6103	0,278	1139	0,1	1	10	100
0,0203	0,813	8,131	81,31	0,0476	0,381	0,031	0,00103	0,353	610,3	0,0278	113,9	0,01	0,1	1	10
0,00203	0,0813	0,8131	8,131	0,0048	0,0381	0,0031	0,0001	0,0353	61,03	0,00278	11,39	0,001	0,01	0,1	1

1 ведро содержитъ въ себѣ 30 фунтовъ воды при $13^1/_3{}^0$ Реом.
1 англ. галлонъ = 0,36942 ведр. = 4,5435 литр.

1 англ. бушель = 8 галлон = 36,3476 литр.
1 англ. квартеръ = 8 бушел. = 11,0826 четверик. = 290,781 литр.

IV. Торговые вѣсы.

Центнеръ.	Берковецъ.	Пудъ.	Фунтъ.	Лотъ.	Золотникъ.	Доля.	Килограммъ.	Граммъ
1	0.6105	6.105	244.2	7814	—	—	100	—
1.638	1	10	400	12800	38400	—	—	—
0.1638	0.1	1	40	1280	3840	—	16.48	16381
0.0041	0.0025	0.025	1	32	96	9216	0.4095	—
—	—	0.00078	0.0313	1	3	288	0.0128	12.8
—	—	—	0.01042	0.333	1	96	0.042	4.2
—	—	—	0.000107	0.00343	0.01041	1	—	0.044
—	—	0.061	2.443	78.14	234.4	—	1	1000
—	—	—	0.0024	0.0781	0.2344	22.52	0.001	1

Фунтъ = вѣсу 25,0189 куб. дюйм. перегнанной воды при температурѣ $13^{1}/_{30}$ Реомюра, взвѣшенной въ безвоздушномъ пространствѣ.

Давленіе въ 1 фунтъ на кв. дм. = 3,6 пуда на кв. футъ.

1 метрическая тонна = 10 центнер. = 1000 килогр.

Если вѣсъ предмета данъ въ килограммахъ на погонный метръ, то для полученія его въ русскихъ фунтахъ на погонный футъ нужно данный вѣсъ умножить на 0,74.

$$\left(0{,}74 = \frac{2{,}443}{3{,}281} = \frac{\text{отношеніе килограмма къ фунту}}{\text{отношеніе метра къ футу}}\right)$$

Если вѣсъ кубическаго метра какого нибудь тѣла равенъ 100 клгр., то вѣсъ кубическаго фута этого тѣла будетъ 6,9143 рус. фунта = 0,17286 пуда, а вѣсъ кубической сажени будетъ 59,29 пуда.

V. Аптекарскіе вѣсы.

Фунтъ.	Унція.	Драхма.	Скрупул.	Гранъ.	Торговый фунтъ.	Золотникъ.
1	12	96	288	5760	0.875	84
0.08333	1	8	24	480	0.0729	7
0.0104	0.125	1	3	60	0.00911	0.875
0.00347	0.0416	0.3333	1	20	0.00303	0.292

Примѣчаніе. На русскихъ бумагопрядильныхъ фабрикахъ употребляется также англійскій вѣсъ. Имѣется два англійскихъ фунта:

1 фунтъ торговый (avoir du pois) = 16 унц. = 256 драхм. = 7000 тройскимъ гранамъ = 0.453593 килограм. = 1.10763 русск. фунт.

1 фунтъ тройскій (марочный или монетный) = 12 унц. = 240 пенниуэйтъ = 5760 гран = 0.373246 килограм. = 0.91142 русск. фунт.

175 фунт. тройскихъ = 144 фунт. торговыхъ = 159,5 русск. фунт.

1 русскій пудъ = почти 36 фунт. торговыхъ англ.

Переводъ обыкновенныхъ и десятичныхъ дробей дюйма въ мм.

Четверти.	Восьмыя.	Шестнадцатыя.	Тридцать вторыя.	Дроби десятичныя.	Миллиметры.
			1/32	0,03125	0,79373
		1/16	2/32	0,06250	1,58747
			3/32	0,05375	2,38120
	1/8	2/16	4/32	0,125	3,17494
			5/32	0,15625	3,96867
		3/16	6/32	0,18750	4,76240
			7/32	0,28875	5,55613
1/4	2/8	4/16	8/32	0,250	6,34988
			9/32	0,27125	7,14360
		5/16	10/32	0,31250	7,93735
			11/32	0,34375	8,73468
	3/8	6/16	12/32	0,375	9,52841
			13/32	0,40625	10,29214
		7/16	14/32	0,43750	11,11226
			15/32	0,46875	11,90601
2/4	4/8	8/16	16/32	0,500	12,69976
			17/32	0,53125	13,49349
		9/16	18/32	0,5625	14,28720
			19/32	0,59375	15,08093
	5/8	10/16	20/32	0,625	15,87470
			21/32	0,65625	16,66843
		11/16	22/32	0,68750	17,46936
			23/32	0,71875	15,29709
3/4	6/8	12/16	24/32	0,750	15,04964
			25/32	0,78125	19,84335
		13/16	26/32	0,81250	20,63708
			27/32	0,84375	21,43080
	7/8	14/16	28/32	0,875	22,22452
			29/32	0,90625	23,18025
		15/16	30/32	0,93750	23,81205
			31/32	0,968725	24,60578
4/4	8/8	16/16	32/32	1,000	25,39954

Вѣсъ кубическаго фута и кубическаго дюйма разныхъ металловъ и воды.

Названіе тѣлъ.	Вѣсъ куб. ф. въ фун.	Вѣсъ куб. д. въ фун.	Число куб. д. въ фун.	Названіе тѣлъ.	Вѣсъ куб. ф. въ фун.	Вѣсъ куб. д. въ фун.	Число куб д. въ фун.
Мѣдь	608,92	0,352	2,83	Олово	505,26	0,292	3,42
„ кован.	617,71	0,357	2,8	Висмутъ	686,8	0,397	2,51
Латунь	581,76	0,336	2,97	Пушеч. мет.	608,65	0,352	2,83
Чугунъ	503,8	0,291	3,43	Ртуть	940,13	0,544	1,86
Желѣзо	528,74	0,306	3,26	Чистое золото . . .	1333,83	0,765	1,3
Свинецъ	786,03	0,455	2,19	„ серебро . .	725,46	0,416	2,4
Сталь	542,75	0,314	3,18	Вода	69,29	0,04	24,93
Цинкъ	498,19	0,288	3,46				

1000 ведеръ въ сутки даютъ 0,0050273 куб. фут. въ секунду.
100 ведеръ въ часъ даютъ 0,0120650 куб. фут. въ секунду.
100 куб. саж. въ часъ даютъ 9,5277800 куб. фут. въ секунду.
1 куб. футъ въ сек. даета въ сутки 251,895 куб. саж. = 198915,0 ведр.
въ часъ 10,495 куб. саж. = 8288,1 ведр:

В. Алгебра.

I. Основныя правила.

1. Сложеніе и вычитаніе. I. Величина суммы не зависитъ отъ порядка слагаемыхъ; слѣдовательно:

$$a + b = b + a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

II. При сложеніи двухъ величинъ съ противоположными знаками меньшая величина вычитается изъ большей, а остатку приписывается знакъ большей величины. Такимъ образомъ имѣемъ:

$$a + (-b) = a - b = -(b - a) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

Напр. $10{,}56 + (-\ 8{,}32) = 10{,}56 - 8{,}32 = 2{,}24$
$7{,}35 + (-\ 11{,}48) = -(11{,}48 - 7{,}35) = -\ 4{,}13.$

III. Когда одна величина вычитается изъ другой или, что то же, величина послѣдней уменьшается на величину первой, то число, которое вычитается, назыв. вычитаемымъ, а число, изъ котораго вычитаютъ, назыв. уменьшаемымъ.

Двѣ величины вычитаются одна изъ другой, если къ уменьшаемому придать (алгебраически) вычитаемое съ обратнымъ знакомъ:

$$\left.\begin{aligned} a - (+b) &= a + (-b) = a - b. \\ a - (-b) &= a + (+b) = a + b. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Напр. $115{,}4 - (+\ 83{,}1) = 115{,}4 + (-\ 83{,}1) = 32{,}3.$
$12{,}8 - (+\ 37{,}9) = 12{,}8 + (-\ 37{,}9) = -\ 25{,}1.$
$4{,}78 - (-\ 3{,}92) = 4{,}78 + (+\ 3{,}92) = 8{,}70.$
$-\ 8{,}23 - (+\ 3{,}04) = -8{,}23 - 3{,}04 = -\ 11{,}47.$
$-\ 0{,}45 - (-\ 3{,}70) = -0{,}45 + 3{,}70 = \quad 3{,}25.$

2. Умноженіе. I. Произведеніе не измѣнится, если измѣнить порядокъ производителей; слѣдовательно:

$$a \,.\, b \,.\, c = b \,.\, c \,.\, a = c \,.\, b \,.\, a, \text{ и т. д.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

Если одинъ изъ производителей состоитъ изъ алгебраической суммы нѣкоторыхъ величинъ, то можно или найти сумму и помножить ее на другой производитель, или каждое изъ слагаемыхъ помножить на общій производитель и полученныя такимъ образомъ произведенія сложить алгебрически; результатъ въ обоихъ случаяхъ одинъ и тотъ же.

III. Производители съ одинаковыми знаками даютъ положительное произведеніе, съ разными — отрицательное. Такимъ образомъ:

$$\left.\begin{array}{l}(+a)\,(b+c-d) = \quad ab+ac-ad.\\ (-a)\,(b+c-d) = -ab-ac+ad.\\ (a+b)\,(c\pm d) = a\,(c\pm d)+b\,(c\pm d) = ac\pm ad+bc\pm bd.\end{array}\right\}\ldots(2).$$

IV. **Умноженіе десятичныхъ дробей.** Правило: Производители перемножаются такъ, какъ бы они представляли цѣлыя числа и въ произведеніи отдѣляютъ столько десятичныхъ знаковъ, сколько ихъ заключается въ обоихъ производителяхъ вмѣстѣ. Если въ произведеніи нѣтъ столько цифръ, сколько нужно отдѣлить десятичныхъ знаковъ, то слѣва приписываютъ къ нему столько нулей, сколько недостаетъ знаковъ.

Примѣръ:

0,04375. 1.25
8750
21875
0,0546875

Сокращенный способъ:

Правило: Если хотятъ получить въ произведеніи только нужное число десятичныхъ знаковъ, то цифру единицъ множителя пишутъ подъ той цифрой множимаго, которая занимаетъ то же мѣсто, что и послѣдній требуемый десятичный знакъ въ искомомъ произведеніи; остальные цифры множителя пишутся въ обратномъ порядкѣ (т. е. десятки, сотни — справа, а десятыя, сотыя . . . . доли слѣва единицъ).

При умноженіи каждая цифра множителя умножается только на тѣ цифры множимаго, которыя расположены слѣва надъ ней, цифры же множимаго справа отбрасываются; частныя произведенія подписываются такъ, чтобы крайнія цифры ихъ справа расположились одна подъ другой. При этомъ нужно «дѣлать поправку», т. е. прибавить къ первымъ цифрамъ частныхъ произведеній такое число единицъ, которое соотвѣтствовало бы произведенію двухъ предшествующихъ цифръ множимаго изъ отбрасываемой части его на данную цифру множителя, т. е. нужно прибавить 1, если произведеніе это заключается между 5 и 14; 2, если оно 15 — 24; 3, если оно 25—34 и т. д.

Примѣръ: Умножить 27,14986 на 92,41035.

Обыкновенный способъ.

27,14986
92,41035

13	574930
81	44958
2714	9860
108599	44
542997	2
24434874	
2508,9280	650510

Сокращенный способъ.

27,14986
53014,29

24434874
542997
108599
2715
81
14
2508,9280

3. Дѣленіе. I. Если дѣлимое и дѣлитель имѣютъ одинаковые знаки, то частное положительно; если они имѣютъ противоположные знаки, то частное отрицательно; слѣдовательно:

$$\left.\begin{array}{l}(-a):(-b) = a:b = +\dfrac{a}{b}\\ (-a):(+b) = (+a):(-b) = -\dfrac{a}{b}\end{array}\right\}\quad\ldots\ldots\quad(1).$$

II. Если дѣлимое состоитъ изъ алгебраической суммы нѣкоторыхъ величинъ, то полное частное тоже равно алгебраической суммѣ частныхъ отъ каждой изъ частей; слѣдовательно:

$$\frac{a \pm b}{c} = \frac{a}{c} \pm \frac{b}{c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

III. Порядокъ дѣйствія, по которому перемножаютъ между собой или дѣлятъ числа, не имѣетъ вліянія на результатъ:

$$\left.\begin{aligned} \frac{a\,b}{c} &= \frac{a}{c} \cdot b = \frac{b}{c} \cdot a \\ \frac{a}{b\,c} &= \frac{a}{b} : c = \frac{a}{c} : b \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

IV. **Дѣленіе десятичныхъ дробей.** Переносятъ запятую въ дѣлимомъ и дѣлителѣ на столько знаковъ вправо, сколько ихъ заключается въ дѣлителѣ и производятъ дѣленіе, какъ надъ цѣлыми числами; но въ частномъ ставятъ запятую прежде, чѣмъ сносятъ десятыя доли дѣлимаго.

Напр. нужно раздѣлить 173,5425 на 3,75; пишутъ

17354,25: 375 = 46,27
2354
1042
2925
300

Если по раздѣленіи остается остатокъ, то можно къ нему, также какъ и ко всякому слѣдующему остатку, приписать нуль и продолжать дѣленіе; потому что отъ приписыванія нулей къ десятичной дроби (дѣлимаго) величина ея не измѣняется;

Нужно напр. раздѣлить 1,9934 на 31,7:

1,9934: 31,7 = 19,934: 317 = 0,0628
914
2800
2640
104

4. Дроби. I. Частное или дробь не измѣняется, если числителя и знаменателя умножить или раздѣлить на одно и то же число:

$$\frac{a}{b} = \frac{a \times c}{b \times c} = \frac{a : c}{b : c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

II. Двѣ дроби приводятся къ одному знаменателю, если числителя и знаменателя каждой изъ нихъ умножить на знаменатель другой:

$$\frac{a}{b} = \frac{ad}{bd}\,; \quad \frac{c}{d} = \frac{cb}{db} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

III. Алгебраическое сложеніе дробей съ одинаковыми знаменателями сводится къ алгебраическому сложенію числителей, причемъ знаменатель суммы дробей будетъ тотъ же знаменатель каждой дроби:

$$\left.\begin{aligned} \frac{a}{b} \pm \frac{c}{b} &= \frac{a \pm c}{b}\,; \\ \frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} &= \frac{ad}{bd} \pm \frac{bc}{bd} = \frac{ad \pm bc}{bd} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (3).$$

IV. При умноженіи дробей числители умножаются между собой и знаменатели между собой:

$$\frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd} \quad \ldots\ldots \quad (4).$$

V. При дѣленіи дробей дѣлимое умножается на обратный дѣлитель:

$$\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \times \frac{d}{c} = \frac{ad}{bc} \quad \ldots\ldots \quad (5).$$

VI. Простая дробь обращается въ десятичную, дѣля числитель на знаменатель. При этомъ удобно пользоваться таблицей обратныхъ чиселъ, приложенной въ началѣ книги, если хотятъ ограничиться небольшимъ числомъ десятичныхъ знаковъ; напр.:

$$\frac{321}{586} = 321 \times \frac{1}{586} = 321 \times 0{,}00171 = \begin{array}{r} 321 \\ 171 \\ \hline 321 \\ 225 \\ 3 \\ \hline 0{,}549 \end{array}$$

если раздѣлить, то получимъ:

$$\begin{array}{l} 321 : 586 = 0{,}548 \\ 2800 \\ 4560 \end{array}$$

5. Возведеніе въ степень. I. Произведеніе или частное двухъ количествъ, возведенныхъ въ одну и ту же степень, равно произведенію или частному этихъ количествъ, возведенному въ ту же степень:

$$a^m . b^m = (a . b.)^m; \; a^m : b^m = \left(\frac{a}{b}\right)^m \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

Напр. $(1{,}25)^2 \times 6^2 = (7{,}5)^2 = 56{,}25$. (По таблицѣ квадратовъ чиселъ, приложенной въ началѣ книги):

именно $(7{,}5)^2 = \left(\frac{75}{10}\right)^2 = \frac{1}{100} \times 75^2 = \frac{5625}{100} = 56{,}25.$

II. При умноженіи степеней одного и того же основанія a показатели степеней складываются; при дѣленіи вычитаются:

$$a^m . a^n = a^{m+n}; \; a^m : a^n = a^{m-n} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

III. При возведеніи въ степень степени какого нибудь количества показатели степеней перемножаются:

$$(a^m)^n = a^{m \cdot n} \quad \ldots\ldots \quad (3).$$

IV. Нечетныя степени отрицательныхъ количествъ отрицательны, четныя — положительны.

$$(-a)^{2m} = a^{2m}; \; (-a)^{2m \pm 1} = -a^{2m \pm 1} \quad \ldots\ldots \quad (4).$$

V. Квадратъ суммы или разности двухъ количествъ:

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2 \quad \ldots\ldots \quad (5).$$

Напр. $(2875)^2 = (2870+5)^2$:

$$\begin{array}{rl} 2870^2 = (10 \times 287)^2 = & 100 \times 82369 \text{ (по таблицѣ квадратовъ чиселъ)} \\ = & 8236900 \\ 2 \times 5 \times 2870 = & 28700 \\ 5^2 = & 25 \\ \hline 2875^2 = & 8265625 \end{array}$$

или: $(9684{,}2)^2 = (9684 + 0{,}2)^2 = 9684^2 + 2 \times 9864 \times 0{,}2 + (0{,}2)^2$
$= (9680 + 4)^2 + 0{,}4 \times 9684 + 0{,}04,$

что при помощи таблицы даетъ:

93702400
77440
16
3873,6
0,04

$(9684{,}2)^2 = 93783729{,}64$

VI. Произведеніе изъ суммы на разность двухъ количествъ равно разности квадратовъ этихъ количествъ:

$$(a+b)\ (a-b) = a^2-b^2. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6).$$

VII. Кубъ суммы или разности двухъ количествъ:

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7).$$

Напр. $(68{,}54)^3 = (68{,}5 + 0{,}04)^3$

Изъ таблицъ кубовъ и квадратовъ чиселъ (въ началѣ книги) найдемъ,

$(68{,}5)^3 = 321419{,}125$
$3 \times 4692{,}25 \times 0{,}04 = 563{,}0700$
$3 \times 68{,}5 \times 0{,}0016 = 0{,}32880$
$(0{,}04)^3 = 0{,}000064$

$(68{,}54)^3 = 321982{,}523864.$

Если b (здѣсь 0,04) число очень маленькое, то можно пренебречь членомъ b^3 въ формулѣ (7).

VIII. Нулевая степень всякаго количества есть 1.

$$a^0 = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8).$$

IX. Величина, возведенная въ отрицательную степень, равна положительной степени обратнаго своего значенія.

$$\left.\begin{aligned} a^{-m} &= \left(\frac{1}{a}\right)^m = \frac{1}{a^m} \\ a^m &= \frac{1}{a^{-m}} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9).$$

X. Единица, возведенная въ какую либо степень, даетъ единицу.

$$1^m = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10).$$

6. Извлеченіе корней. I. Корень соотвѣтствуетъ степени, показатель которой есть обратная величина показателя корня:

$$\sqrt[m]{a} = a^{\frac{1}{m}}\ ;\ a^m = \sqrt[\frac{1}{m}]{a} \quad \ldots\ldots \quad (1).$$

II. Чтобы перемножить или раздѣлить корни одинаковыхъ показателей двухъ количествъ, нужно перемножить или раздѣлить самыя количества, показатель корня произведенія или частнаго останется тѣмъ-же.

$$\sqrt[m]{a}\ \sqrt[m]{b} = \sqrt[m]{ab}\ ;\ \sqrt[m]{a} : \sqrt[m]{b} = \sqrt[m]{\frac{a}{b}} \quad \ldots \quad (2).$$

III. Изъ I слѣдуетъ, что, количество съ дробнымъ показателемъ, равно корню изъ этого количества, возведеннаго въ степень, равную числителю показателя, степень же корня равна знаменателю показателя

$$\sqrt[m]{a^n} = a^{\frac{n}{m}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (3).$$

IV. Если мы имѣемъ какое нибудь количество, возведенное въ дробную степень $\frac{n}{m}$, то все равно, возвести ли прежде это количество въ n-ую степень, а потомъ извлечь корень m-ой степени, или прежде извлечь корень m-ой степени, а потомъ возвести въ степень n.

$$\left.\begin{array}{l} \sqrt[m]{a^n} = \left(\sqrt[m]{a}\right)^n \text{ и точно также} \\ \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} \quad \ldots \ldots \end{array}\right\} \quad \ldots \quad (4).$$

V. Когда извлекаютъ корень изъ корня, то показатели корней перемножаются. (Ср. пар. 5, III).

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (5).$$

VI. Значеніе корня изъ количества, возведеннаго въ степень, не измѣнится, если показатель корня и показатель степени помножить или раздѣлить на одно и то же число; это слѣдуетъ уже изъ формулы (3).

$$\sqrt[m]{a^n} = \sqrt[mq]{a^{nq}} = \sqrt[\frac{m}{q}]{a^{\frac{n}{q}}} = a^{\frac{n}{m}} \quad \ldots \ldots \quad (6).$$

VII. Корень нечетной степени изъ какого нибудь количества имѣетъ тотъ же знакъ, что и самое количество; корень четной степени изъ положительнаго количества можетъ быть и положителенъ, и отрицателенъ; изъ отрицательнаго количества невозможно извлечь корень четной степени (мнимая величина).

$$\left.\begin{array}{l} \sqrt[2n+1]{+a} = +b\ ; \quad \sqrt[2n+1]{-a} = -b; \\ \sqrt{+a} = \pm c\ ; \sqrt{-a} = c \cdot \sqrt{-1}\ , \text{ т. е. невозможному.} \end{array}\right\} \quad (7).$$

VIII. Квадратные и кубичные корни изъ трехзначныхъ чиселъ берутъ прямо по таблицѣ (въ началѣ книги); напр.:

$$\sqrt[3]{7{,}71} = \frac{1}{10}\sqrt[3]{771} = 2{,}7767,$$

$$\sqrt[3]{0{,}771} = \frac{1}{10}\sqrt[3]{771} = 0{,}9169,$$

Изъ многозначнаго числа можно найти приблизительно квадратный или кубичный корень, если въ столбцахъ для n^2 или n^3 искать число приблизительно равное подкоренному; тогда соотвѣтственная величина n есть искомый корень, напр.:

$$\sqrt{5198{,}5} = \frac{1}{10}\sqrt{519850} = 72{,}1 \text{ приблизительно.}$$

$$\sqrt[3]{4478{,}94} = \frac{1}{10}\sqrt[3]{4478930} = 16{,}5 \text{ приблизительно.}$$

Корень кубичный изъ квадрата какого нибудь числа можно найти такимъ образомъ: въ столбцѣ кубовъ ищутъ ближайшій кубъ для числа n, тогда противъ n въ столбцѣ квадратовъ найдется приблизительная величина для $n^{\frac{2}{3}}$; подобнымъ же образомъ можно найти квадратный корень изъ куба какого нибудь числа. (Сравн. съ формулой 4. этого парагр.)

Напр. нужно найти $(365{,}4)^{\frac{2}{3}}$.

$365{,}4 = \frac{365\ 400\ 000}{1\ 000\ 000}$; ближайшій кубъ для числа $\frac{715}{100} = 7{,}15 = \frac{365\ 525\ 875}{1\ 000\ 000}$ ищемъ въ столбцѣ квадратовъ $(7{,}15)^2 = \frac{51\ 1225}{10000}$; слѣдов. приблизительно $(365{,}4)^{\frac{2}{3}} = (7{,}15)^2 = 51{,}12$.

IX. Извлеченіе квадратнаго корня изъ чиселъ дѣлается такъ:

Первое дѣйствіе: Раздѣляютъ подкоренное число на грани по двѣ цифры въ каждой, цѣлыя числа отъ правой руки къ лѣвой, десятичныя доли отъ лѣвой руки къ правой. Крайняя грань слѣва можетъ имѣть только одну цифру; крайнюю грань справа можно дополнить, если нужно, нулемъ. Запятая остается всегда между двумя гранями. Напр. нужно извлечь квадратный корень изъ числа 761,7; пишутъ:

$$\sqrt{7\,|\,61,\,|\,70} =$$

Второе дѣйствіе: Ищутъ ближайшій корень изъ первой грани, найденное число будетъ первой цифрою искомаго корня и его пишутъ рядомъ съ знакомъ равенства, а квадратъ его подъ первой гранью; вычитаютъ и къ остатку сносятъ всю слѣдующую грань, какъ къ дѣлимому.

$$\sqrt{7\,|\,61\,|\,70} = 2.$$
$$\underline{4}$$
$$361$$

Третье дѣйствіе: Удвоенный найденный корень дѣлаютъ дѣлителемъ и смотрятъ, сколько разъ онъ заключается въ дѣлимомъ (остаткѣ), если отъ послѣдняго отбросить первую цифру справа; частное будетъ вторая цифра корня и его пишутъ рядомъ (справа) съ дѣлителемъ; дополненный такимъ образомъ дѣлитель умножаютъ на вторую цифру корня, пишутъ подъ дѣлимымъ и вычитаютъ его; къ остатку сносятъ слѣдующую грань, какъ къ новому дѣлимому. Такъ продолжаютъ со всѣми гранями, и если въ концѣ получится еще остатокъ, то къ нему сносятъ по два нуля до тѣхъ поръ, пока въ корнѣ получится требуемое число десятичныхъ знаковъ. Грани, составляющія цѣлыя числа, даютъ цѣлое число въ корнѣ; а грани съ десятичными долями даютъ десятичныя доли корня. Такимъ образомъ, продолжая извлеченіе изъ даннаго числа, получаемъ:

$$\sqrt{7\,|\,61,\,|\,70} = 27{,}59$$

	4	
47	36 | 1	
	32 9	
545	3 27 0	
	2 725	
5509	54500	
	49581	
	4919 ост.	

Повѣрка по пар. 5. V.

$(27{,}59)^2 = (20 + 7{,}59)^2$

$20^2 = 400{,}0000$

$2 \times 20 \times 7{,}59 = 303{,}6$

$(7{,}59)^2 = 57{,}6081$ (По табл. I.)

761,2081

0,4919

761,7000

и т д.

2. Примѣръ. Найти квадратный корень изъ 0,75.

$$\sqrt{0,\,|\,75\,|} = 0{,}866$$

	64
166	1100
	996
1726	10400
	10356
	44 ост.

Повѣрка: $0{,}866^2 + 0{,}000044 = 0{,}74956 + 0{,}000044 = 0{,}75.$

3. Примѣръ: Извлечь квадратный корень изъ 0,000854.

$$\sqrt{0,\,|\,00\,|\,08\,|\,54} = 0{,}029;$$

	4
49	454
	441
ост.	13

Повѣрка:

0,029, = 0,000841

\+ 13

0,000854

X. Извлеченіе кубичнаго корня изъ чиселъ дѣлается такъ:

Первое дѣйствіе: Подкоренное число разбиваютъ на грани по 3 цифры въ каждой, цѣлыя числа отъ правой руки къ лѣвой, десятичныя доли отъ лѣвой руки къ правой; изъ первой грани вычитаютъ ея кубичный корень. Рядомъ съ знакомъ равенства пишутъ найденную цифру корня и къ остатку сносятъ слѣдующую грань, какъ дѣлимое.

Второе дѣйствіе: Потомъ получаютъ дѣлитель, умножая квадратъ найденной цифры корня на 300 и смотрятъ сколько разъ этотъ дѣлитель заключается въ дѣлимомъ; частное представляетъ вторую цифру искомаго корня.

Третье дѣйствіе: Умножаютъ дѣлитель на послѣднюю цифру корня; умножаютъ также каждую цифру корня, за исключеніемъ послѣдней, на 30 и на квадратъ послѣдней цифры; возвышаютъ послѣднюю цифру корня въ третью степень; сумму этихъ трехъ полученныхъ чиселъ вычитаютъ изъ дѣлимаго; къ остатку сносятъ слѣдующую грань, какъ новое дѣлимое и поступаютъ по предъидущему:

Пусть для примѣра нужно извлечь кубичный корень изъ 444194,944:

$$\sqrt{444 \mid 194 \mid 944} = 76{,}3$$

		343 | |
$7^2 \times 300 =$	14700 |	101194
$6 \times 14700 =$	88200	
$7 \times 30 \times 36 =$	7560	
$6^3 =$	216	95976
$76^2 \times 300 =$	1732800 |	5218947
$3 \times 1732800 =$	5198400	
$76 \times 30 \times 9 =$	20520	
$3^3 =$	27	5218947
		„ „

XI. Сокращенный способъ: Извлеченія корня изъ чиселъ, состоящихъ изъ цѣлаго числа и десятичныхъ знаковъ.

Умножаютъ разность — между корнемъ изъ цѣлой части даннаго числа и корнемъ изъ ближайшаго большаго цѣлаго числа — на дробную часть даннаго, и произведеніе прибавляютъ къ корню даннаго цѣлаго: сумма представитъ искомый корень, который въ случаѣ квадратнаго корна точенъ для трехъ десятичныхъ знаковъ, а въ случаѣ кубичнаго для семи десятичныхъ знаковъ.

Примѣръ 1. Извлечь корень квадратный изъ 60,2

$$\sqrt{61} = 7{,}8102$$
$$\sqrt{60} = 7{,}7459$$

Разность $= 0{,}0643$
$\times \quad 0{,}2$
$= \quad 0{,}01286$
$+ \quad 7{,}7459$

$\sqrt{60{,}2} = 7{,}75876$ точность до третьяго десятичнаго знака.

Примѣръ 2. Извлечь кубичный корень изъ 843,75.

$$\sqrt[3]{844} = 9{,}4503$$
$$\sqrt[3]{843} = 9{,}4466$$

Разность $= 0{,}0037$
$\times \quad = \quad 0{,}75$
185
259
0,002775
$\times \quad 9{,}4466$

$$\sqrt[3]{843{,}75} = 9{,}449375$$

7. Вычисленіе логариѳмовъ. Принадлежащій сюда 7-й столбецъ таблицы, приложенной въ началѣ книги, содержитъ передъ запятой первые четыре десятичные знаки (такъ назыв. мантиссу) обыкновенныхъ или Баргговыхъ логариѳмовъ для цѣлыхъ чиселъ отъ 0 до 1000.

I. Отысканіе логариѳма даннаго числа. Логариѳмъ (вмѣстѣ съ характеристикою, или цѣлою частью) есть то число, которое соотвѣтствуетъ горизонтальной графѣ даннаго числа.

Такъ напр. мантисса для числа 395 есть 5966; потому что она помѣщена въ томъ мѣстѣ, гдѣ вертикальная графа № 7 пересѣкаетъ горизонтальную графу, которая начинается съ 395.

Логариѳмы для чиселъ большихъ 1000 отыскиваются помощью интерполяціи, пользуясь разностями.

Напр. Мантисса логариѳма для числа 3792 находится такъ: мант. 3792=57864+ +0,2×114=57887, потому что мантисса для 379 есть 57864, а разница между ней и ближайшей большей есть 114.

Характеристика (цѣлое) логариѳма равно числу цифръ въ данномъ числѣ (цѣломъ) безъ одной.

Такъ характеристика логариѳма отъ 185 есть 2, отъ 18,5 — 1, отъ 1,85 — 0, отъ 0,185 характеристика логариѳма равна — 1, отъ 0,0185 — 2 и т. д. Такимъ образомъ полный логариѳмъ отъ 3792:

$$lg\ 3792 = 3{,}57887 \text{ и}$$
$$lg\ 0{,}03792 = 0.5788 - 2.$$

II. Отысканіе числа по данному логариѳму. Ищутъ въ таблицѣ полную мантиссу, принимая во вниманіе нули, стоящіе слѣва; когда она отыскана, то отъ нея переходятъ по горизонтальному направленію до первой графы, гдѣ находятъ цифры искомаго числа, послѣ этого отъ искомаго числа, отдѣляютъ какъ цѣлую часть, столько цифръ, сколько въ характеристикѣ единицъ + 1.

Напр. число, логариѳмъ котораго 1,65896, есть 45,6; или число, логариѳмъ котораго 0,02938, есть 1,07, для логариѳма 0,26905 — 2 имѣемъ число 0,01858.

Когда данный логариѳмъ не имѣется въ таблицѣ въ точности, то въ случаѣ, если не хотятъ довольствоваться числомъ, соотвѣтствующимъ ближайшему меньшему логариѳму, можно опять пользоваться способомъ интерполяціи.

Напр. Для логариѳма 2,87569 имѣемъ приблизительно число 751, соотвѣтствующее логариѳму 2,8756. Находятъ разность между даннымъ логариѳмомъ и ближайшимъ меньшимъ, мантисса котораго имѣется въ таблицѣ; дѣлятъ ее на разность между обѣими мантиссами (табличными), между которыми находится данная мантисса, частное представляетъ искомую величину поправки, слѣдовательно:

Число, логариѳмъ котораго — или *Num. log* 2,87569 = 751,0
2,87560 =
9:60 = 0,1

такимъ образомъ болѣе точное число есть 751,1.

Точно также:

$$Num.\ log\ 0{,}79478 = 6{,}23 + \frac{478-450}{7000} = 6.234$$

Употребленіе логариѳмовъ. а) Логариѳмъ произведенія равенъ суммѣ логариѳмовъ производителей.

$$log\ (ab) = lg\ a + lg\ b \ldots\ldots\ldots (1).$$

Напр. $lg\ (184{,}5 \times 0{,}4782) = lg\ 184{,}5 + lg\ 0{,}4782$

$$= \left\{ \begin{array}{c} 2{,}26600 \\ 0{,}67941 - 1 \\ 18 \end{array} \right\}$$

$$= 1{,}94559$$

слѣдов. $184{,}5 \times 0{,}4782 = num.\ 1{,}94559 = 88{,}22.$

b) Частное двухъ чиселъ найдется, если логариѳмъ дѣлителя или знаменателя вычесть изъ логариѳма дѣлимаго или числителя и подыскать число, соотвѣтствующее полученной разности.

$$lg.\frac{a}{b} = log.\ a - log.\ b \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Напр. $log\ \frac{74{,}82}{0{,}2178} = log\ 74{,}82 - log\ 0{,}2178$

$$= \left\{ \begin{array}{c} 1{,}87402 \\ -\ 0{,}33806 + 1 \end{array} \right\}$$

$$= 2{,}53596$$

слѣдов. $\frac{74{,}82}{0{,}2178} = num.\ 2{,}53596 = 343{,}5.$

c) Логар. степени какого нибудь числа равенъ показателю степени, умноженному на логариѳмъ количества, возводимаго въ степень:

$$log\ (a^n) = n.\ log\ (a) \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Точно также по пар. 6, формулѣ 1, имѣемъ:

$$log\ \sqrt[m]{a} = log\ a^{\frac{1}{m}} = \frac{1}{m}\ log\ a \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Напр. для $(0{,}4172)^4$ имѣемъ:

$$log\ 0{,}4172 = 0{,}62035 - 1$$
$$log\ (0{,}4172)^4 = 2{,}48140 - 4 \quad \times 4$$
$$= 0{,}48140 - 2$$

отсюда $(0{,}4172)^4 = 0{,}0303.$

Далѣе для $\sqrt[3]{6{,}476}$ имѣемъ:

$$log\ 6{,}476 = 0{,}81130 \quad : 3$$
$$log\ (6{,}476)^{\frac{1}{3}} = 0{,}27043$$

слѣдов. $\sqrt[3]{6{,}476} = 1{,}866.$

Наконецъ для $\sqrt[3]{(0{,}578)^2}$ имѣемъ:

$$log\ 0{,}578 = 0{,}76193 - 1$$
$$log\ (0{,}578)^2 = 1{,}52386 - 2 \quad \times 2$$
$$\text{или} = 2{,}52386 - 3 \quad : 3.$$
$$log\ (0{,}578)^{\frac{2}{3}} = 0{,}84129 - 1$$

Отсюда $\sqrt[3]{(0{,}578)^2} = 0{,}694.$

II. Уравненія.

8. Основныя правила для рѣшенія уравненій. I. Равенство сохранится, если обѣ части его увеличить или уменьшить на одно и то же число, если ихъ увеличить или уменьшить въ одно и то же число разъ, если возвести ихъ въ одну и ту же дробную или цѣлую степень. Отсюда слѣдующія правила:

a) Каждый членъ уравненія можетъ быть перенесенъ изъ одной части въ другую съ противоположнымъ знакомъ; слѣдовательно:

$$\left.\begin{array}{ll} & x \pm a = b. \\ \text{отсюда} & x = b \mp a. \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

b) Если одна часть уравненія представляетъ произведеніе, то одинъ производитель можетъ быть перенесенъ въ другую часть въ видѣ дѣлителя и обратно, слѣдовательно:

$$\left.\begin{array}{l} \text{Если } ax = b, \text{ то } x = \dfrac{b}{a}. \\ \text{„ } \dfrac{x}{a} = b, \text{ то } x = ab. \\ \text{„ } \dfrac{a}{x} = b, \text{ то } x = \dfrac{a}{b}. \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

c) Возведеніе въ степень одной части можетъ быть замѣнено извлеченіемъ корня изъ другой, и обратно:

$$\left.\begin{array}{l} \text{Если } x^m = b, \text{ то } x = \sqrt[m]{b}. \\ \text{„ } \sqrt[m]{x} = b, \text{ то } x = b^m. \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

d) Если неизвѣстное входитъ въ уравненіе въ видѣ показателя степени, то для рѣшенія его отъ обѣихъ частей нужно взять логариѳмъ:

$$\left.\begin{array}{ll} a^x = b, \text{ слѣдов. } & x \log. a = \log. b. \\ & x = \dfrac{\log. b.}{\log. a.} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (4).$$

Напр. $3^{2x-1} = 20$ даетъ $(2x-1)\ log.\ 3 = log.\ 20,$

$$2x - 1 = \frac{log.\ 20}{log.\ 3} = \frac{1{,}30103}{0{,}47712} = 2{,}7268,$$

отсюда $x = \dfrac{3{,}7268}{2} = 1{,}8634.$

II. Чтобы рѣшить сложное уравненіе (съ многими членами) нужно размѣстить его члены въ извѣстномъ порядкѣ, для этого нужно имѣть въ виду слѣдующее:

a) Неизвѣстное ни въ одномъ членѣ не должно входить въ видѣ дѣлителя (или знаменателя).

b) Всѣ члены содержащіе неизвѣстное, должны быть въ одной части, а извѣстные члены въ другой.

c) Члены, содержащіе неизвѣстное съ однимъ и тѣмъ же показателемъ степени, должны быть соединены между собой.

d) Неизвѣстное не должно стоять подъ корнемъ.

e) Отдѣльные члены должны быть размѣщены по убывающимъ степенямъ неизвѣстнаго.

f) Первый членъ, который такимъ образомъ содержитъ неизвѣстное въ высшей степени, долженъ быть положительнымъ и имѣть коэффиціэнтомъ только единицу.

g) Нужно стараться привести уравненіе къ простѣйшему виду.

Все это можетъ быть сдѣлано на основаніи основнаго правила I.

Напр. имѣемъ уравненіе:

$$\frac{x+a}{x+b} + cx = dx + f.$$

Умножаемъ цѣлые члены на $x + b$, получаемъ:

$$x + a + cx\,(x+b) = (dx + f)\,(x+b).$$

или $x + a + cx^2 + bcx = dx^2 + fx + bdx + bf.$
или $cx^2 - dx^2 + x + bcx - fx - bdx = bf - a.$
или $x^2\,(c-d) + x\,(1 + bc - f - bd) = bf - a.$

и если, согласно условію (f), раздѣлимъ обѣ части уравненія на $c - d$ и вынесемъ кромѣ того за скобки b, то получимъ:

$$x^2 + \frac{1 + b\,(c-d) - f}{c-d}\,x = \frac{bf - a}{c-d}.$$

Второй примѣръ: Размѣстить члены въ уравненіи: $x - a\sqrt{x} = b.$

Прежде всего имѣемъ: $x - b = a\sqrt{x}$,
потомъ: $(x - b)^2 = a^2x$,
или $x^2 - 2bx + b^2 = a^2x$,
отсюда $x^2 - x\,(2,b + a^2) = -b^2.$

9. Пропорціи. I. Произведеніе крайнихъ членовъ пропорціи равно произведенію среднихъ:

$$\left.\begin{array}{l} \text{Если } x : a = b : c \text{ или } \dfrac{x}{a} = \dfrac{b}{c}, \\ \text{то } ab = cx, \text{ и } x = \dfrac{ab}{c}; \end{array}\right\} \ldots (1).$$

и когда крайніе или средніе члены равны (непрерывная пропорція), т. е.

$$\left.\begin{array}{l} x : a = b : x, \text{ или } a : x = b, \text{ то} \\ x^2 = ab, \quad x = \sqrt{ab}. \end{array}\right\} \ldots (2).$$

II. Перемѣна мѣстъ между обоими крайними членами или обоими средними не мѣняетъ пропорціи; если слѣдовательно:

$$\left.\begin{array}{l} x : a = b : c, \text{ то точно также} \\ x : b = a : c. \end{array}\right\} \ldots (3).$$

III. Изъ одной данной пропорціи можно получить другую, если первый членъ замѣнить суммой или разностью первыхъ двухъ членовъ и третій членъ замѣнить суммой или разностью послѣднихъ двухъ; слѣдовательно:

$$\left.\begin{array}{l} \text{если } x : a = b : c, \text{ то также} \\ (x \pm a) : a = (b \pm c) : c. \end{array}\right\} \ldots (4).$$

10. Уравненія первой степени со многими неизвѣстными. I. Если данный случай требуетъ опредѣленія многихъ неизвѣстныхъ величинъ, то изъ условій задачи должно быть составлено столько независимыхъ одно отъ другаго уравненій, сколько имѣется неизвѣстныхъ. Когда такая система уравненій составлена, то по ней стараются составить новую систему, которая содержала бы на одно уравненіе и на одно неизвѣстное менѣе (какъ это сдѣлать, будетъ сказано ниже). Съ ново-составленной системой поступаютъ точно также, до тѣхъ поръ, пока получится одно уравненіе съ однимъ неизвѣстнымъ, которое можно рѣшить, пользуясь правилами парагр. 8. Вставивъ значеніе неизвѣстнаго, найденное изъ послѣдняго уравненія въ одно изъ двухъ уравненій предпослѣдней системы, опредѣляемъ значеніе втораго неизвѣстнаго; вставивъ эти оба значенія въ одно изъ трехъ уравненій предыдущей системы опредѣляемъ третье неизвѣстное и т. д. до тѣхъ поръ, пока значеніе всѣхъ неизвѣстныхъ будутъ найдены.

II. Способы для исключенія неизвѣстныхъ приведенные ниже для двухъ уравненій съ двумя неизвѣстными, примѣнимы также къ системѣ со многими неизвѣстными.

Пусть имѣемъ уравненія $ax + by = c$ . . . . . (1).
$a'x + b'y = c'$ . . . . . (2).

а) Способъ сравненія величинъ неизвѣстныхъ. Опредѣляютъ изъ обѣихъ уравненій одно какое нибудь неизвѣстное и сравниваютъ оба полученныя выраженія его (при чемъ другое неизвѣстное разсматривается какъ извѣстное):

Изъ (1) слѣдуетъ: $x = \frac{c - by}{a}$ . . . (A.)

„ (2) „ $x = \frac{c' - b'y}{a'}$ . . . (B.)

слѣдов. $\frac{c - by}{a} = \frac{c' - b'y}{a'}$,

или $a'c - a'by = ac' - ab'y$,
или $y\,(ab' - a'b) = ac' - a'c$;

отсюда $y = \frac{ac' - a'c}{ab' - a'b} = \frac{a'c - ac'}{a'b - ab'}$ . . . . . (3).

Вставивъ это выраженіе въ (A) или въ (B), получаемъ:

$$x = \frac{bc' - b'c}{a'b - ab'} = \frac{b'c - bc'}{ab' - a'b} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

b) Способъ подстановки: Опредѣляютъ по прежнему одно неизвѣстное изъ одного какого нибудь уравненія и полученное выраженіе вставляютъ въ другое уравненіе.

Если напр. вставить прежнее выраженіе (*A*):

$$x = \frac{c - by}{a}$$

въ другое уравненіе (2), то послѣднее приметъ видъ:

$$a' \frac{c - by}{a} + b'y = c'$$

откуда слѣдуетъ:

$$a'c - a'by + ab'y = ac',$$

или $y(ab' - a'b) = ac' - a'c;$

отсюда

$$y = \frac{ac' - a'c}{ab' - a'b}$$ какъ (3).

Вставивъ эту величину въ одно изъ данныхъ уравненій, опредѣлимъ x.

c) Способъ уравненія коэффиціентовъ. Умножаемъ первое уравненіе на коэффиціентъ при исключаемомъ неизвѣстномъ во второмъ уравненіи, а второе уравненіе на коэффиціентъ при этомъ неизвѣстномъ въ первомъ; такимъ образомъ эти коэффиціенты уравниваются. Затѣмъ складываютъ почленно эти уравненія или вычитаютъ, смотря по тому, имѣютъ ли коэффиціенты исключаемаго неизвѣстнаго разные или одинаковые знаки.

Пусть имѣемъ опять два уравненія (1) и (2) и мы хотимъ уравнить коэффиціенты при x, тогда:

(1) умноженное на a' дастъ $aa'x + a'by = a'c$ . . . . . (5)
(2) „ „ a „ $aa'x + ab'y = ac'$ . . . . . (6)

Вычитая (6) изъ (5) имѣемъ: $y(a'b - ab') = a'c - ac',$

отсюда: $y = \frac{a'c - ac'}{a'b - ab'}$, какъ прежде.

Если бы коэффиціенты при x имѣли разные знаки, то для исключенія x нужно бы было оба уравненія сложить.

II. Квадратныя уравненія. I. Всякое уравненіе второй степени можно привести или къ общему виду неполнаго уравненія (см. пар. 8, II)

$$ax^2 = b \text{ или } x^2 = \frac{b}{a} \quad . . . . . (1)$$

или къ общему виду полнаго уравненія:

$$ax^2 + bx = c \text{ или } x^2 + \frac{b}{a}x = \frac{c}{a} . . . . . (2)$$

Пусть для краткости $\frac{b}{a} = m$ и $\frac{c}{a} = n$ тогда изъ (1) и (2) получимъ·

$$x^2 = m . . . . . (1.\ A)$$
$$x^2 + mx = n . . . . . (2.\ A)$$

II. Чтобы рѣшить неполное квадратное уравненіе, нужно только изъ бѣихъ частей равенства извлечь квадратный корень. Слѣдов. изъ (1. A):

$$x = \pm \sqrt{m} \ldots\ldots (1.\ B)$$

Такимъ образомъ неполное квадратное уравненіе имѣетъ два рѣшенія (корня равныхъ, но съ разными знаками.

III. Чтобы найти корни полнаго квадратнаго уравненія поступаютъ такъ:

Пусть имѣемъ уравненіе $x^2 + mx = n \ldots (2.\ A)$

Прибавимъ къ обѣимъ частямъ равенства квадратъ половины коэффиціента при x, тогда мы въ первой части получимъ полный квадратъ суммы (ср. пар. 5, V, формулу 5); уравненіе приметъ видъ:

$$x^2 + mx + \left(\frac{m}{2}\right)^2 = \frac{m^2}{4} + n;$$

$$\text{или } \left(x + \frac{m}{2}\right)^2 = \frac{m^2}{4} + n.$$

Извлечемъ изъ обѣихъ частей квадратный корень; получимъ:

$$x + \frac{m}{2} = \sqrt{\frac{m^2}{4} + n} = \pm \frac{1}{2}\sqrt{m^2 + 4n};$$

$$\text{отсюда: } x = -\frac{m}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{m^2 + 4n} = \frac{-m \pm \sqrt{m^2 + 4n}}{2}. \quad (2.B)$$

Такимъ образомъ полное квадратное уравненіе имѣетъ два корня.

IV. Всякое уравненіе высшей степени, которое можно привести къ виду:

$$ax^{2n} + bx^n = c \ldots\ldots (3)$$

можетъ быть рѣшено какъ уравненіе квадратное, если предположить $x^n = z$, тогда по формулѣ (2. B).

$$z = x^n = \frac{-m \pm \sqrt{m^2 + 4n}}{2}$$

$$\text{отсюда } x = \sqrt[n]{\frac{-m \pm \sqrt{m^2 + 4n}}{2}} \ldots\ldots (3.\ A)$$

V. Когда даны два совмѣстныхъ уравненія (система двухъ уравненій), изъ которыхъ оба квадратныя или только одно, съ двумя неизвѣстными, то рѣшивъ одно изъ нихъ относительно одного неизвѣстнаго, вставляемъ его выраженіе въ другое и поступаемъ по приведеннымъ уже правиламъ. Напр. Нужно рѣшить два уравненія:

$$x + y = s \ldots\ldots (4)$$
$$xy = p \ldots\ldots (5)$$

Изъ (5) слѣдуетъ $y = \frac{p}{x}$; вставляетъ это выраженіе въ (4):

$$x = \frac{p}{x} = s \text{ или } x^2 + p = sx;$$

или $x^2 - sx = -p$ и отсюда по формулѣ (2. B), въ которой вмѣсто m вставляемъ $-s$, а вмѣсто n — $-p$:

$$\left.\begin{array}{l} x = \dfrac{s \pm \sqrt{s^2 - 4p}}{2}\text{; вставивъ это выраженіе въ (4),} \\ \text{получаемъ } \quad y = \dfrac{s \mp \sqrt{s^2 - 4p}}{2} \end{array}\right\} \quad \ldots \quad (6)$$

III. Ряды.

12. Биномный рядъ. $(a + x)^n = a^n + na^{n-1}x + \dfrac{n(n-1)}{1.2}$.

$a^{n-2}x^2 + \dfrac{n(n-1)(n-2)}{1.2.3}a^{n-3}x^3 +$ и т. д. . . . . (1)

$(a-x)^n = a^n - na^{n-1}x + \dfrac{n(n-1)}{1.2}a^{n-2}x^2 - \dfrac{n(n-1)(n-2)}{1.2.3}$.

$a^{n-3}x^3$ и т. д. . . . . (2)

$$(a + x)^n = a^n\left[1 + n\left(\frac{x}{a}\right) + \frac{n(n-1)}{1.2}\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{1.2.3}\right.$$

$$\left.\left(\frac{x}{a}\right)^3 \text{ и т. д. } \ldots\right] \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Если въ формулѣ (3) положить $n = \dfrac{1}{m}$, то получимъ формулу для извлеченія корня m-ой степени; напр. при $n = \dfrac{1}{2}$ и $n = \dfrac{1}{3}$ получаемъ слѣдующія формулы:

$$\sqrt{a + x} = \sqrt{a}\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{x}{a}\right) - \frac{1}{8}\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \frac{1}{16}\left(\frac{x}{a}\right)^3\right.$$

$$\left. - \frac{5}{128}\left(\frac{x}{a}\right)^4 + \frac{7}{256}\left(\frac{x}{a}\right)^5 - \ldots\right] \ldots\ldots \quad (4)$$

$$\sqrt[3]{a + a} = \sqrt[3]{a}\left[1 + \frac{1}{3}\left(\frac{x}{a}\right) - \frac{1}{9}\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \frac{5}{81}\left(\frac{x}{a}\right)^3\right.$$

$$\left. - \frac{10}{243}\left(\frac{x}{a}\right)^4 + \frac{22}{729}\left(\frac{x}{a}\right)^5 - \ldots\right] \ldots\ldots \quad (5)$$

Далѣе имѣемъ:

$$(1+x)^n = 1 + nx + \frac{n(n-1)}{1.2}x^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{1.2.3}x^3 + \quad (6)$$

Пусть m есть положительное цѣлое число, тогда мы получимъ для $\left(1+\frac{1}{m}\right)^m$, если замѣнить въ формулѣ x черезъ $\frac{1}{m}$ и n черезъ m, слѣдующую формулу:

$$\left(1+\frac{1}{m}\right)^m = 1 + m\frac{1}{m} + \frac{m(m-1)}{1.2}\cdot\frac{1}{m^2} + \frac{m(m-1)(m-2)}{1.2.3}\cdot\frac{1}{m^3}$$
$$+ \frac{m(m-1)(m-2)(m-3)}{1.2.3.4}\cdot\frac{1}{m^4}\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$
$$= 2 + \frac{1}{1.2}\left(1-\frac{1}{m}\right) + \frac{1}{1.2.3}\left(1-\frac{1}{m}\right)\left(1-\frac{2}{m}\right) + \cdot \quad (7)$$

При m очень большомъ (такъ что предѣлъ $\frac{1}{m} = 0$) эта формула принимаетъ видъ:

$$\left(1+\frac{1}{m}\right) = 2 + \frac{1}{1.2} + \frac{1}{1.2.3} + \frac{1}{1.2.3.4} + \cdot = 2{,}718281828. \quad (8)$$

Это число обозначается черезъ e и есть основаніе «натуральныхъ» логариѳмовъ.

13. Ариѳметическій рядъ перваго порядка. Для ариѳметической прогрессіи:

$$\underset{1}{a},\ \underset{2}{a+d},\ \underset{3}{a+2d},\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \underset{n}{a+(n-1)d}$$

n—вый или послѣдній членъ:

$$u = a + (n-1)\,d \quad \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \quad (1)$$

Сумма n первыхъ членовъ получается по одной изъ слѣдующихъ формулъ:

$$s = \frac{a+u}{2}n, \quad \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \quad (2)$$

$$s = \left(a + \frac{n-1}{2}d\right)n \quad \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \quad (3)$$

$$s = \left(u - \frac{n-1}{2}d\right)n \quad \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \quad (4)$$

$$s = \frac{a+u}{2}\left(\frac{u-a}{d}+1\right) \quad \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \quad (5)$$

14. Сумма первыхъ, вторыхъ и т. д. степеней натуральныхъ чиселъ. Пусть $\Sigma(n)$ есть сумма натуральныхъ чиселъ $(1, 2, 3 \ldots n)$ отъ 1 до n; далѣе $\Sigma(n^2)$, $\Sigma(n^3)$ и т. д.—сумма ихъ квадратовъ, кубовъ и т. д., тогда

$$\Sigma(n) = \frac{1}{2} n^2 + n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$\Sigma(n^2) = \frac{1}{3} n^3 + \frac{1}{2} n^2 + \frac{1}{6} n \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$$\Sigma(n^3) = \frac{1}{4} n^4 + \frac{1}{2} n^3 + \frac{1}{4} n^2 \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

$$\Sigma(n^4) = \frac{1}{5} n^5 + \frac{1}{2} n^4 + \frac{1}{3} n^3 - \frac{1}{30} n \quad \ldots \quad (4)$$

$$\Sigma(n^5) = \frac{1}{6} n^6 + \frac{1}{2} n^5 + \frac{5}{12} n^4 - \frac{1}{12} n^2 \quad \ldots \quad (5)$$

Если n число очень большое, то приблизительно

$$\Sigma(n^5) = \frac{n^{m+1}}{m+1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

т. е. берутъ во вниманіе только первый членъ каждой предъидущей формулы, точно также:

$$\Sigma\left(n^{\frac{1}{2}}\right) = \frac{2}{3} n^{\frac{3}{2}} \text{ приблизительно} \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

$$\Sigma\left(n^{\frac{3}{2}}\right) = \frac{2}{5} n^{\frac{5}{2}} \quad \text{„} \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

$$\Sigma\left(n^{\frac{2}{3}}\right) = \frac{3}{5} n^{\frac{5}{3}} \quad \text{„} \quad \ldots\ldots \quad (9)$$

и т. д.

15. Геометрическая прогрессія. Для геометрической прогрессіи:

$$a, af, af^2 \ldots\ldots\ldots\ldots$$

n-овый или послѣдній членъ:

$$u = af^{n-1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Сумма n первыхъ членовъ выражаются помощью слѣдующихъ четырехъ формулъ:

$$s = \frac{a(f^n - 1)}{f - 1}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$s = \frac{fu - a}{f - 1}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

$$s = \frac{u^{\frac{n}{n-1}} - a^{\frac{n}{n-1}}}{u^{\frac{1}{n-1}} - a^{\frac{1}{n-1}}}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

$$s = \frac{u\,(f^n - 1)}{(f-1)\,f^{n-1}}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5).$$

Если $n = \infty$ и f дробь, величина которой значительна, то $u=0$ и по (3)

$$s = \frac{a}{1-f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6).$$

16. Рядъ показателя степени. $e^x = 1 + \frac{x}{1} + \frac{x^2}{1.2} + \frac{x^3}{1.2.3} + \ldots$ (1).

гдѣ $e = 2{,}718281828\ldots\ldots$ есть основаніе такъ назыв. натуральныхъ или гиперболическихъ логариѳмовъ. Если число m есть очень большое число, то приблизительно также:

$$e^x = \left(1 + \frac{x}{m}\right)^m, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

17. Вычисленіе процентовъ на проценты. Капиталъ K, отданный въ ростъ по сложнымъ процентамъ, считая по a процентовъ въ годъ, превращается черезъ n лѣтъ въ сумму W; будемъ имѣть слѣдующія соотношенія:

I. Дано a, K, n, отыскать W:

$$W = \left(1 + \frac{a}{100}\right)^n K \ldots \quad (1.)$$

II. Дано W; n, a, найти K:

$$K = W : \left(1 + \frac{a}{100}\right)^n \ldots\ldots \quad (2.)$$

III. Дано n, W, K, найти a:

$$a = 100 \left(\sqrt[n]{\frac{W}{K}} - 1\right) \ldots \quad (3)$$

IV. Дано W, K, a, найти n:

$$n = \frac{log.\ W - log.\ K.}{log.\left(1 + \frac{a}{100}\right)} \ldots \quad (4)$$

Примѣръ 1. Капиталъ въ 5,000 руб., отданный въ ростъ по 4%, черезъ 6 лѣтъ образуетъ сумму $A = 6327{,}6$ руб., потому что $A = 5{,}000\ (1 + 0{,}04)^6$, или $log\ A = 6\ log\ 1{,}04 + log\ 5{,}000 = 6.0{,}01703 + 3{,}69897 = log\ 6326{,}6$.

Примѣръ 2. Народонаселеніе въ теченіи 20 лѣтъ возрасло изъ 3450 человѣкъ до 5126, найти процентъ, въ которомъ увеличивалось народонаселеніе.

Искомое здѣсь $\sqrt[20]{\frac{5126}{3450}} - 1$, и какъ $log\ 5216 = 3{,}70978$ и $log\ 3450 = 3{,}53782$. то $\sqrt[20]{\frac{5126}{3450}} =$ чис. $log\ \frac{0{,}17196}{2} =$ чис. $log\ 0{,}008598 = 1{,}02$; поэтому искомый процентъ $= 1{,}02 - 1 = 0{,}02$ или 2%.

18. Вычисленіе срочныхъ вкладовъ и уплатъ. Если капиталъ K, отданный въ ростъ по сложнымъ процентамъ, считая a проц. въ годъ, дополняется или уменьшается къ концу каждаго года на нѣкоторую постоянную сумму S, то:

I. Величина капитала черезъ n лѣтъ:

$$W = \left(1 + \frac{a}{100}\right)^n K \pm \left\{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^n - 1\right\} \frac{100}{a} S \ldots\ldots \quad (1).$$

II. Если ежегодно отнимать отъ капитала больше, чѣмъ сколько наростаетъ процентовъ $\frac{a}{100} K$ къ концу перваго года, то конечный капиталъ W будетъ меньше, чѣмъ первоначальный капиталъ K. Черезъ n лѣтъ капиталъ будетъ нуль, если:

$$\frac{S}{K} = \frac{a}{100} \cdot \frac{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^n}{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^n - 1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

III. Число лѣтъ, за которое капиталъ въ предыдущемъ случаѣ былъ потребленъ (погашенъ въ случаѣ уплаты долга) при данномъ $S > \frac{a}{100} K$, будетъ:

$$n = \frac{log.\ S - log.\left(S - \frac{a}{100} K\right)}{log.\left(1 + \frac{a}{100}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Примѣръ 1. Найти число лѣтъ росту, въ которое капиталъ въ 3500 р., при 3% обратится въ 5000 р.

Искомое число лѣтъ росту:

$$n = \frac{log\ 5000 - log\ 3500}{log\ 1{,}03} = \frac{3{,}69897 - 3{,}54407}{0{,}01284} = \frac{0{,}15490}{0{,}01284} = 12{,}06.$$

Примѣръ 2. Какую сумму слѣдуетъ вносить ежегодно, начиная съ рожденія дитяти, чтобы къ совершеннолѣтію, т. е. къ исходу 21 года составился капиталъ въ 48000 руб., при $4^1/_2{}^0/_0$?

По формулѣ 1, искомая сумма S = чис. $(log\ W + log\ \frac{a}{100} - log\ (1 + \frac{a}{100} -$

$$- log\left[\left(1 + \frac{a}{100}\right)^n - 1\right] = \text{чис. } log\ 48000 + log\ 0{,}045 - log\ (1\,045^{21} - 1).$$

$$= \text{чис. } log\ (4{,}68124 + 2{,}65321 - 0{,}01912 - log\ (2{,}52024 - 1)$$
$$= \text{чис. } log\ 3{,}13342 = 1359 \text{ руб. } 65 \text{ к.}$$

Примѣръ 3. Сколько слѣдуетъ платить ежегодно, чтобы въ 7 лѣтъ уплатить долгъ въ 6400 руб., при $4^1/_2{}^0/_0$? По формулѣ 2, искомая сумма.

$$S = \text{чис.}\left\{log\ K. + log.\ \frac{a}{100} + n\ log\ \left(1 + \frac{a}{100}\right) - log\left[\left(1 + \frac{a}{100}\right)^n - 1\right]\right\}$$

$$= \text{чис.}\left\{log\ 6400 + log.\ 0{,}045 + 7\ log\ 1{,}045 - log\ (1{,}045^7 - 1)\right\}$$

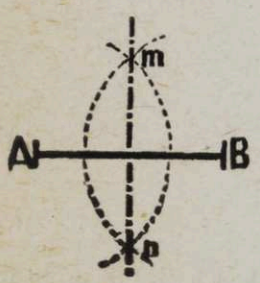
$$= \text{чис. } log.\left\{3{,}80618 + 2{,}65321 + 7{,}001912 - log\ (1{,}3608 - 1)\right\}$$

$$= \text{чис. } log.\ 3{,}03587 = 1086 \text{ руб. } 9 \text{ коп.}$$

C. Геометрія.

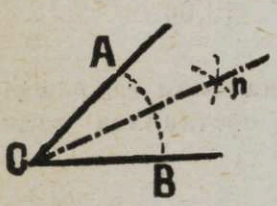
I. Планиметрія.

19. Геометрическое черченіе. Геометрическое черченіе есть искусство изображать математическія фигуры при помощи линейки и циркуля или другаго пригоднаго для этой цѣли инструмента.



фиг. 1.

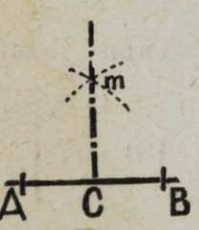
I. Данную линію AB раздѣлить на двѣ равныя части (фиг. 1). Изъ концевыхъ точекъ A и B, какъ изъ центровъ, опиши произвольнымъ радіусомъ (бо́льшимъ однакожъ, нежели половина данной линіи) двѣ дуги круга, пересѣкающіяся въ точкахъ m и n. Прямая линія, соединяющая m и n, раздѣлитъ данную прямую пополамъ и будетъ къ ней перпендикулярна.



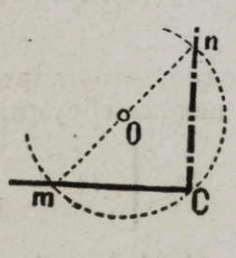
фиг. 2.

II. Данный уголъ раздѣлить пополамъ (фиг. 2). Изъ вершины C какъ изъ центра опиши произвольнымъ радіусомъ дугу круга AB, пересѣкающую стороны угла; и изъ A и B какъ центровъ опиши тоже произвольнымъ радіусомъ двѣ дуги, пересѣкающіяся между собою въ точкѣ n. Прямая линія, проведенная чрезъ точки C и n раздѣлитъ данный уголъ пополамъ.

III. Въ данной точкѣ C прямой линіи возстановить къ ней перпендикуляръ.



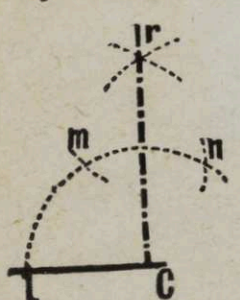
фиг. 3.



фиг. 4.

a) Съ каждой стороны точки C (фиг. 3) отложи на прямой двѣ равныя части CA и CB и потомъ поступай какъ сказано въ задачѣ I.

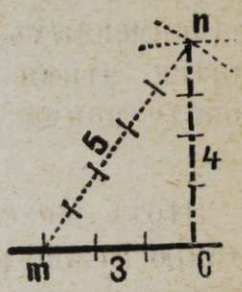
b) Изъ произвольной точки O (фиг. 4) опиши кругъ, который проходитъ чрезъ данную точку C и пересѣкаетъ данную прямую линію еще въ другой точкѣ m; проведи діаметръ mOn и соедини n съ C; линія nC будетъ искомый перпендикуляръ.



фиг. 5

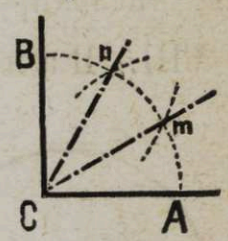
c) Опиши изъ точки C (фиг. 5) произвольнымъ радіусомъ Cl дугу круга lmn, пересѣкающую данную прямую въ l; сдѣлай $lm = mn = Cl$, опиши изъ m и n произвольнымъ радіусомъ двѣ дуги, пересѣкающіяся въ r; линія rC будетъ искомый перпендикуляръ.

d) Изъ точки C (фиг. 6) отложи на данной прямой три равныя части, чрезъ это получится на ней точка m; потомъ изъ точки C радіусомъ, равнымъ четыремъ такимъ же частямъ, и изъ m радіусомъ равнымъ пяти такимъ же частямъ опиши двѣ дуги, пересѣкающіяся въ n; линія nC будетъ искомый перпендикуляръ.



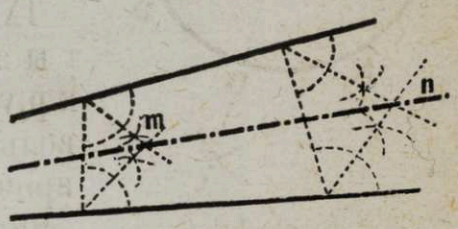
фиг. 6.

IV. Раздѣлить прямой уголъ на три равныя части (фиг. 7). Изъ вершины C опиши произвольнымъ радіусомъ четверть круга, которая пересѣкаетъ стороны въ A и B. Изъ A и B опиши радіусомъ четверти круга двѣ дуги, пересѣкающія четверть круга въ m и n. Прямыя линіи, соединяющія m и n съ C дѣлятъ прямой уголъ на три равныя части.



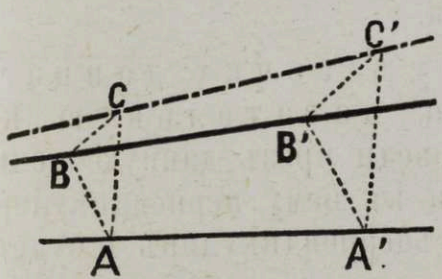
фиг. 7.

V. Раздѣлить пополамъ уголъ, коего вершина недоступна (фиг. 8). Пересѣки обѣ стороны угла двумя произвольными прямыми линіями; изъ четырехъ угловъ, образуемыхъ каждою прямою съ данными сторонами, раздѣли пополамъ тѣ два, которые лежатъ на одной и той же сторонѣ проведенныхъ прямыхъ линій, чтобъ одна пара линій дѣленія пересѣкалась въ точкѣ m, а другая въ точкѣ n; проведи mn, которая и будетъ искомая линія, дѣлящая уголъ пополамъ.

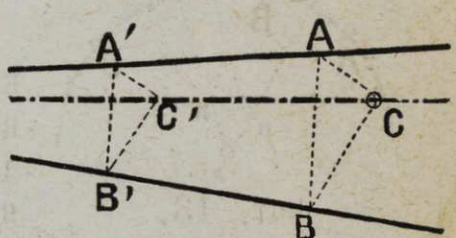


фиг. 8.

VI. Провести прямую линію чрезъ произвольную точку C и недоступную вершину угла (фиг. 9, фиг. 10).



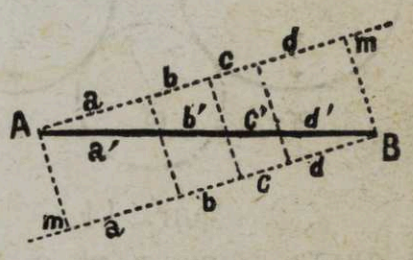
фиг. 9.



фиг. 10.

Начерти произвольный треугольникъ ABC, одинъ уголъ котораго находится въ данной точкѣ C, а два другіе угла лежатъ на сторонахъ даннаго угла. На нѣкоторомъ разстояніи отъ него начерти другой треугольникъ $A'B'C'$, для чего проведи $A'B'$ параллельно AB, такъ чтобы A' находилась на одной и той же сторонѣ съ A, а B' на той же сторонѣ какъ и B; потомъ проведи $B'C' \parallel BC$ и $A'C' \parallel AC$ и соедини C съ C'; тогда это и будетъ искомая прямая.

VII. Раздѣлить прямую линію AB въ произвольномъ отношеніи $a : b : c : d$.... (фиг. 11). Чрезъ обѣ концевыя точки A и B прямой линіи подъ какимъ угодно острымъ угломъ проведи сверху и снизу данной линіи двѣ параллельныя прямыя Am и Bn и отложи отъ A на Am рядъ частей a, b, c, d.... и отъ B на Bn тѣже



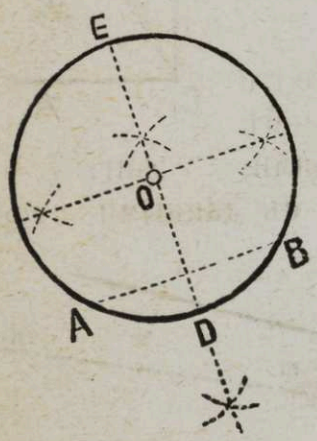
фиг11.

части но въ обратномъ порядкѣ ....*d*, *c*, *b*,*a*; соедини полученную концевую точку на *Bn* съ *An* и потомъ противолежащія концевыя точки одноименныхъ частей. Длины, на которыя данная прямая линія раздѣлится этими соединительными линіями, будутъ относиться какъ части, между коими онѣ находятся; слѣдовательно:

$$a' : b' : c' : d' .... = a : b : c : d ....$$

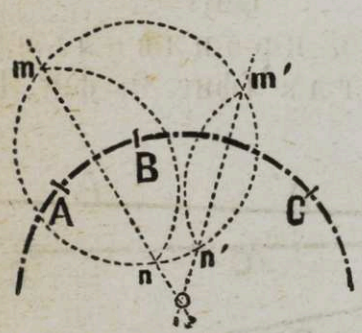
Этотъ же самый способъ употребляется и тогда, когда данную прямую линію нужно раздѣлить на произвольное число равныхъ частей; тогда нужно на вспомогательныхъ линіяхъ *Am* и *Bn* отложить соотвѣтствующее число произвольныхъ равныхъ частей.

VIII. Найти центръ даннаго (уже начерченнаго) круга (фиг. 12). Произвольную хорду *AB* раздѣли пополамъ перпендикуляромъ (по задачѣ 1, стр. 23), который, будучи продолженъ до пересѣченія съ кругомъ въ *D* и *E*, образуетъ діаметръ. Точка *O*, раздѣляющая его пополамъ, будетъ искомый центръ круга.



фиг. 12.

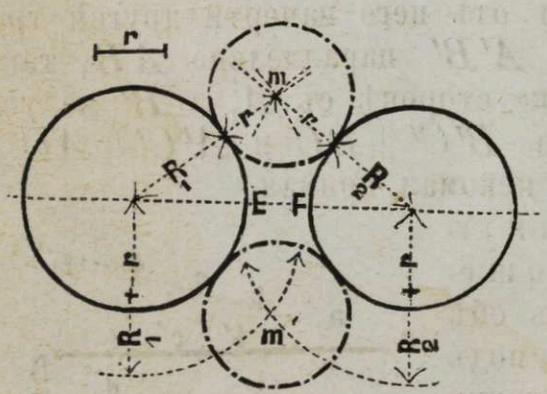
IX. Чрезъ три точки *A*, *B*, *C*, взятыя не на прямой линіи, провести кругъ (фиг. 13). Изъ средней точки *B* произвольнымъ радіусомъ опиши кругъ, а изъ двухъ прочихъ точекъ *A* и *C* тѣмъ же радіусомъ опиши двѣ дуги, которыя пересѣкутъ кругъ, одна въ точкахъ *m* и *n*, другая въ *m'* и *n'*. Проведи прямыя *mn* и *m'n'*; точка *O*, гдѣ онѣ, будучи продолжены, пересѣкаются, будетъ центръ искомаго круга.



фиг. 13.

X. Чрезъ данную точку даннаго круга провести касательную къ нему линію. Проведи чрезъ данную точку діаметръ и возстанови къ нему перпендикуляръ въ данной точкѣ; этотъ перпендикуляръ и будетъ искомая касательная.

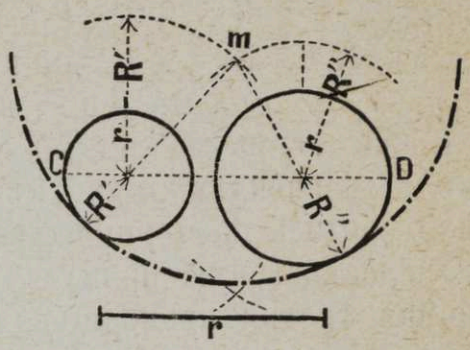
XI. Начертить кругъ даннаго радіуса *r*, касательный къ двумъ даннымъ кругамъ.



фиг. 14.

а) Если искомый кругъ долженъ прикасаться къ даннымъ кругамъ снаружи, то радіусъ долженъ быть по крайней мѣрѣ равенъ половинѣ кратчайшаго разстоянія *EF* (фиг. 14) между данными кругами. Изъ центра каждаго изъ данныхъ круговъ опиши концентрическій кругъ радіусомъ, бо́льшимъ радіуса соотвѣтствующаго даннаго круга на радіусъ *r* искомаго круга. Эти вспомогательные круги пересѣкутся въ двухъ точкахъ *m* и *m'*, которые будутъ два центра, изъ коихъ и можно описать искомый кругъ.

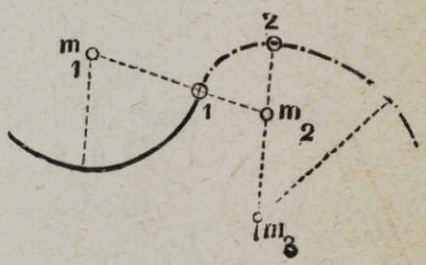
b) Если данные круги должны прикасаться къ искомому кругу извнутри (фиг. 15), то его радіусъ r долженъ быть по крайней мѣрѣ равенъ половинѣ наибольшаго разстоянія CD данныхъ круговъ; и тогда опиши, подобно предъидущему, концентрическіе круги радіусами, равными разности даннаго радіуса и радіуса соотвѣтствующаго круга. Въ этомъ случаѣ точно также имѣются два центра, удовлетворяющіе заданію.



фиг. 15.

c) Точка соприкосновенія двухъ касательныхъ круговъ находится на линіи, соединяющей оба центра.

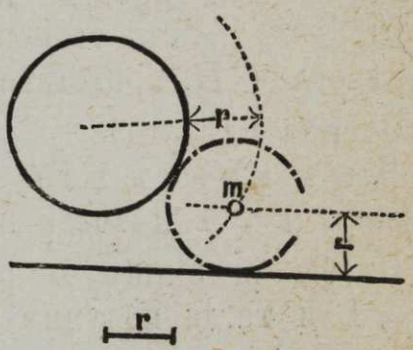
XII. Начертить кругъ, который прикасался бы къ данному кругу въ данной точкѣ (фиг. 16). Чрезъ данную точку проведи радіусъ даннаго круга; на немъ или на его продолженіи будетъ находиться центръ искомаго круга.



фиг. 16.

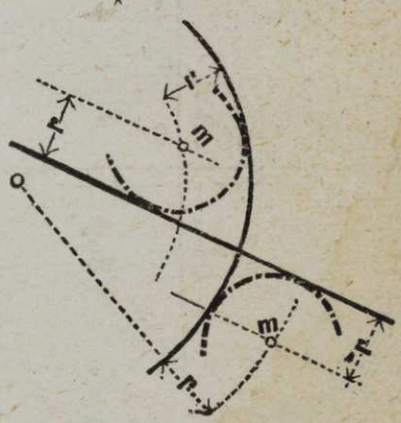
XIII. Начертить кругъ даннаго радіуса r, который прикасается къ данному кругу и къ данной прямой линіи.

a) Данная прямая линія и данный кругъ не пересѣкаются (фиг. 17). Въ сторонѣ отъ даннаго круга проведи линію, параллельную къ данной линіи на разстояніи r; изъ центра даннаго друга опиши концентрическій кругъ на разстояніи r; точка пересѣченія m этого концентрическаго круга съ проведенною ранѣе параллелью будетъ искомый центръ.



фиг. 17.

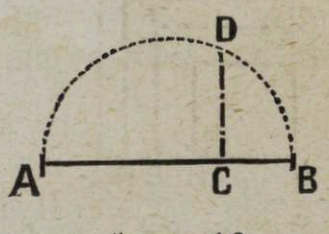
b) Данная прямая линія пересѣкаетъ данный кругъ (фиг. 18). Проведи, какъ и прежде, на разстояніи r параллель къ данной прямой линіи n; смотря по тому должно ли соприкосновеніе находиться снаружи или извнутри даннаго круга, радіусомъ даннаго круга, увеличеннымъ или же уменьшеннымъ на данный радіусъ r опиши изъ его центра концентрическій кругъ; его точка пересѣченія m съ проведенною ранѣе параллельною линіею будетъ искомый центръ.



фиг. 18.

XIV. Графическое рѣшеніе нѣкоторыхъ задачъ. При графическомъ вычисленіи числа изображаются длинами прямыхъ линій.

a) Къ двумъ даннымъ величинамъ a и b найти среднюю пропорціональную (фиг. 19). На прямой линіи AB отложи величины a и b, выраженныя длиною двухъ отрѣзковъ AC и CB; потомъ на AB, какъ на діаметрѣ, опиши полукругъ и возстанови въ C перпендикуляръ



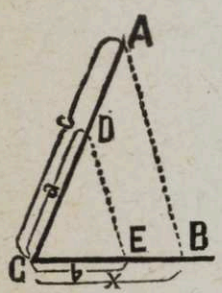
фиг. 19.

CD, идущій до круга; тогда отрѣзокъ $CD = c$ изобразитъ требуемую среднюю пропорціональную или будетъ:

$$a : c = c : b, \text{ или } c^2 = ab, \text{ или } c = \sqrt{ab}.$$

b) Къ двумъ даннымъ величинамъ a и c найти третью пропорціональную b. На прямой линіи AB, фиг. 19, отложи отрѣзокъ AC, соотвѣтствующій данному переднему члену a, и въ C перпендикулярно къ AB отрѣзокъ CD, соотвѣтствующій данной средней пропорціональной C; соедини A съ D и проведи $DB \perp AD$ и пересѣкающую прямую линію AB въ B; тогда $CB = b$ будетъ искомая третья пропорціональная.

c) Къ тремъ даннымъ величинамъ a, b, c найти четвертую пропорціональную или рѣшить графически пропорцію $a : b = c : x$ (фиг. 20).



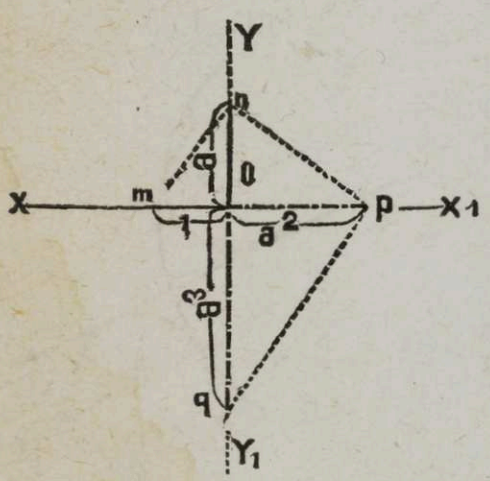
фиг. 20.

На одной сторонѣ произвольнаго угла ACB отложи два данные первые члена a и c, выраженные отрѣзками CD и CA, а на другой сторонѣ отложи отъ вершины C отрѣзокъ CE пропорціональный данному заднему члену b; соедини концевыя точки D и E величинъ a и b или соотвѣтствующихъ отрѣзковъ прямою линіею DE и чрезъ концевую точку A отрѣзка, соотвѣтствующаго c, проведи параллельную къ DE; ея точка пересѣченія B съ стороною, на которой была отложена b, опредѣлить отрѣзокъ CB, представляющій искомую четвертую пропорціональную x.

Отсюда слѣдуетъ:

Чтобы умножить величину b на величину c, нужно сдѣлать отрѣзокъ $a = 1$ и тогда получимъ $x = bc$.

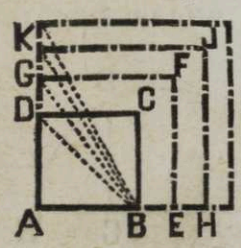
Чтобы величину b раздѣлить на величину a, нужно сдѣлать $c = 1$ и тогда получимъ $x = b : a$.



фиг. 21.

d) Графическое возведеніе въ степень (фиг. 21). Начерти двѣ прямоугольныя оси XX_1, YY_1, пересѣкающіяся въ точкѣ O; потомъ отложи отъ O по OX отрѣзокъ $Om = 1$ и на OY отрѣзокъ $On = a$; проведи mn и $np \perp mn$; тогда на OX_1 получится отрѣзокъ $Op = a^2$; проведи $pq \perp np$, получишь на OY_1 отрѣзокъ $O = a^3$ и т. д.

e) Графическое извлеченіе корней. Чтобъ найти корень квадратный изъ величины a, построй (по способу указанному подъ литерою a по фиг. 19) среднюю пропорціональную къ величинамъ $AC = a$ и $CB = b = 1$; она и будетъ искомый квадратный корень.

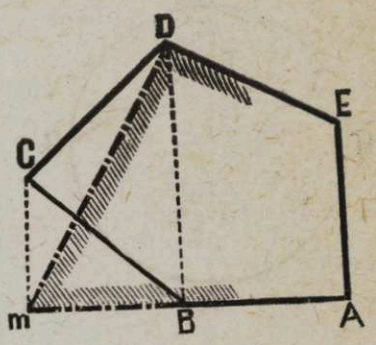


фиг. 22.

XV. Найти сторону квадрата, который въ 2, 3, 4.... раза болѣе даннаго квадрата Путь $ABCD$, фиг. 22, данный квадратъ; тогда его діагональ BD будетъ стороною квадрата, $AEFG$,

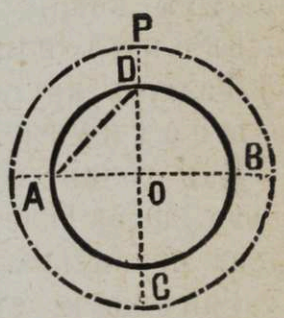
который въ два раза болѣе *ABCD;* и линія *BG* будетъ тогда сторона квадрата *AHJK*, который втрое болѣе квадрата *ABCD;* далѣе линія *BK* сторона квадрата, въ четыре раза большаго чѣмъ *ABCD* и т. д.

XVI. Превращеніе произвольнаго многоугольника въ треугольникъ съ равной площадью (фиг. 23). Отрѣжь отъ многоугольника діагональю (*BD*) треугольникъ (*BCD*); чрезъ вершину (*C*) отрѣзаннаго треугольника проведи параллель къ сказанной діагонали до пересѣченія съ примыкающею стороною (*AB*) или съ ея продолженіемъ и соедини точку пересѣченія (*m*) съ противоположнымъ концомъ (*D*) діагонали. Получится многоугольникъ (*AmDE*), имѣющій однимъ угломъ менѣе, чѣмъ данный, но съ равною площадью. При повтореніи этого способа окончательно получится искомый треугольникъ.



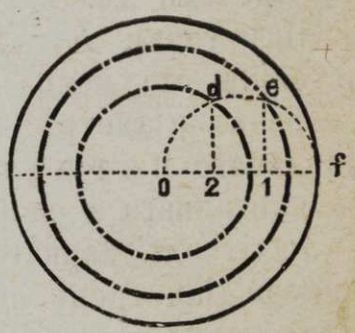
фиг. 23.

XVII. Найти діаметръ круга, площадь коего въ два или нѣсколько разъ болѣе площади даннаго круга (фиг. 24). Пусть *ABCD* данный кругъ; проведи два перпендикулярные діаметра *AB* и *CD*; хорда *AD* будетъ радіусъ *OP* круга, имѣющаго вдвое большую площадь чѣмъ данный кругъ. Половина хорды *AD* будетъ радіусъ круга, имѣющаго вдвое меньшую площадь и т. д.



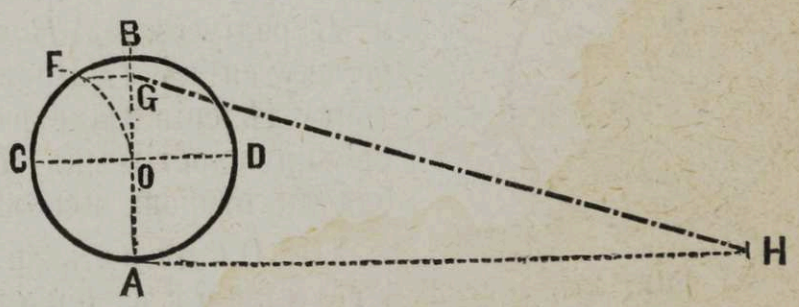
фиг. 24.

XVIII. Данную площадь круга раздѣлить на произвольное число концентрическихъ равныхъ между собою частей (фиг. 25). На радіусѣ *of* опиши полукругъ *odef* раздѣли *of* на данное число равныхъ частей, проведи перпендикуляры 1*e*, 2*d*, и т. д. до встрѣчи съ полукругомъ въ *e*, *d*....; тогда опиши изъ центра *O* радіусами *oe*, *od* и т. д. круги; данный кругъ раздѣлится ими на требуемое число равныхъ частей.



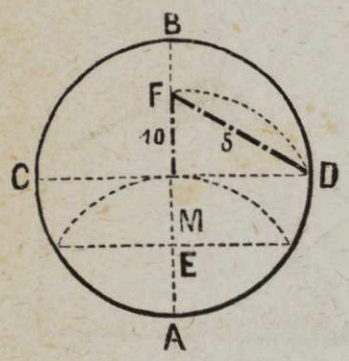
фиг. 25.

XIX. Найти прямую линію, длина которой равна окружности даннаго круга (фиг. 26). Пусть *ACBD* данный кругъ. Проведи къ нему касательную *AH*, сдѣлай ея длину равною тремъ діаметрамъ и проведи перпендикулярно и параллельно къ ней два діаметра *AB* и *CD*. Изъ концевой точки діаметра *CD* радіусомъ круга опиши дугу *OF* до встрѣчи съ даннымъ кругомъ въ *F;* изъ *F* опусти перпендикуляръ *FG*



фиг. 26.

на радіусъ AB и соедини точку G съ концомъ начерченной ранѣе касательной; длина прямой линіи GH будетъ очень близко совпадать съ окружностію круга.



фиг. 27.

XX. Найти сторону квадрата, площадь котораго равна площади даннаго круга. Построй по задачѣ XIVa, стр. 61, среднюю пропорціональную между радіусомъ и половиною окружности даннаго круга, найденной по задачѣ XIX; она и будетъ искомая сторона квадрата.

XXI. Въ данномъ кругѣ начертить правильный многоугольникъ; или найти отрѣзокъ, который откладывался бы въ видѣ хорды въ данномъ кругѣ столько разъ, сколько сторонъ долженъ имѣть многоугольникъ; или раздѣлить кругъ на данное число равныхъ частей.

a) Проведи въ кругѣ два взаимноперпендикулярные діаметра и соедини ихъ концы по порядку; получится правильный четырехъугольникъ или квадратъ въ кругѣ.

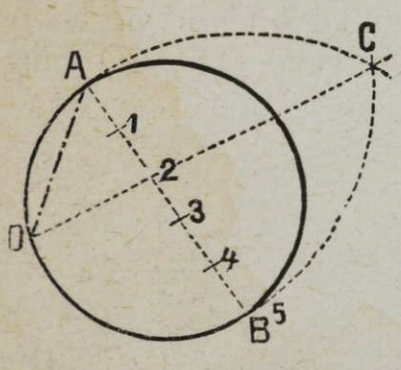
b) Радіусъ круга есть въ то же время сторона правильнаго вписаннаго шестиугольника.

c) Изъ точки на окружности радіусомъ даннаго круга опиши дугу, которая пересѣкаетъ его въ двухъ точкахъ c и d. Хорда cd будетъ сторона правильнаго треугольника въ кругѣ.

d) Найденную сторону треугольника раздѣли пополамъ; половина будетъ сторона правильнаго семиугольника въ кругѣ.

e) Проведи два взаимно перпендикулярные діаметра AB и CD (фиг. 27). Изъ точки E, дѣлящей радіусъ пополамъ, радіусомъ равнымъ ея разстоянію отъ конца D втораго діаметра опиши дугу DF, которая на первомъ діаметрѣ даетъ точку F. Тогда хорда DF будетъ сторона правильнаго пятиугольника, а отрѣзокъ MF сторона правильнаго вписаннаго десятиугольника.

f) Радіусомъ даннаго круга изъ четырехъ концовъ двухъ перпендикулярныхъ діаметровъ опиши дуги (сравни задачу IV, стр. 59), тогда каждая четверть раздѣлится на 3, а слѣдов. весь кругъ на 12 равныхъ частей.



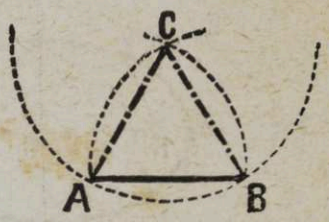
фиг. 28.

g) Общій способъ (фиг. 28). Раздѣли діаметръ AB на столько равныхъ частей, сколько многоугольникъ долженъ имѣть сторонъ. Изъ A и B радіусомъ AB опиши дуги, которыя пересѣкутся въ C. Проведи чрезъ C и вторую точку дѣленія діаметра прямую линію до встрѣчи съ окружностію въ D, проведи AD; это и будетъ сторона искомаго многоугольника.

XII. Описать правильный многоугольникъ около даннаго круга. Начерти многоугольникъ въ данномъ кругѣ поспособу, описанному въ задачѣ XXI и параллельно каждой его сторонѣ проведи касательныя къ данному кругу.

XXIII. Начертить правильный многоугольникъ по данной длинѣ сторонъ. Большая часть задачъ этого рода сводится къ задачамъ предъидущаго класса.

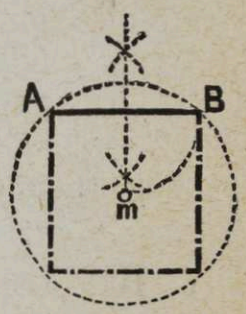
a) Изъ обоихъ концовъ A и B (фиг. 29) данной стороны радіусомъ равнымъ ея длинѣ опиши двѣ дуги, которыя пересѣкутся въ точкѣ C; соедини C съ A и B; получится правильный или равносторонній треугольникъ.



фиг. 29.

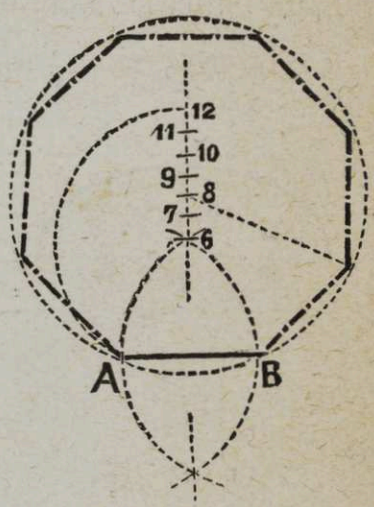
b) Изъ найденной, подобно предъидущему, точки C радіусомъ CA опиши кругъ; въ немъ можно построить правильный шестиугольникъ съ данною стороною.

c) Данную сторону раздѣли перпендикуляромъ по задачѣ I пополамъ и изъ средней точки радіусомъ равнымъ половинѣ стороны опиши дугу круга до встрѣчи съ перпендикуляромъ въ m; (фиг. 30) m будетъ центръ круга, въ которомъ можно начертить квадратъ съ данною стороною.



фиг. 30.

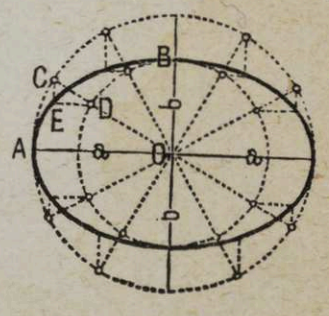
d) На данной сторонѣ AB (фиг. 31) опиши по a) равносторонній треугольникъ; изъ его вершины C опусти перпендикуляръ на данную линію и продолжи его за C на величину равную AB; раздѣли эту величину на 6 равныхъ частей и занумеруй C цифрою 6, слѣдующую точку — цифрою 7 и такъ далѣе до 12. Тогда 6 будетъ центръ круга, проходящаго чрезъ A и B, въ которомъ можно начертить шестиугольникъ съ данною стороною; 7 центръ круга, въ которомъ можно начертить семиугольникъ и т. д. до двѣнадцатиугольника.



фиг. 31.

XXIV. Начертить эллипсъ по данным большой и малой осямъ. Нѣкоторыя свойства эллипса.

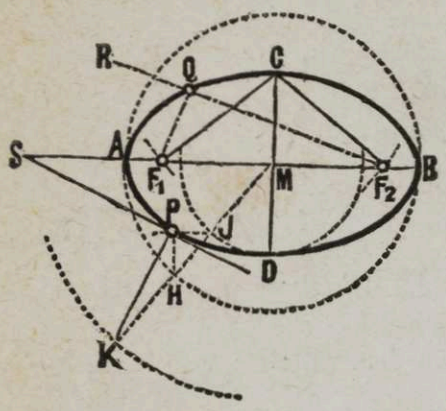
a) На большой и на малой осяхъ, какъ на діаметрахъ, опиши окружности (фиг. 32) изъ точки O пересѣченія этихъ взаимно перпендикулярныхъ осей; проведи произвольный радіусъ, который пересѣчетъ внутренній кругъ (описанный на малой оси) въ точкѣ D, а наружный (описанный на большой оси) въ C; чрезъ D проведи параллель къ большой оси, чрезъ C параллель къ малой оси; эти линіи пересѣкутся въ точкѣ E, которая есть искомая точка эллипса. Подобнымъ образомъ можно опредѣлить произвольное число точекъ эллипса, которые потомъ соединятся непрерывною кривою линіею.



фиг. 32.

b) Радіусъ MJH, служившій для опредѣленія точки P эллипса, про-

должимъ до пересѣченія его въ K съ кругомъ, описаннымъ изъ центра M эллипса радіусомъ, равнымъ суммѣ полуосей; если соединимъ K съ P, то эта линія KP будетъ перпендикулярна къ эллипсу въ точкѣ P; если же чрезъ P проведемъ линію PS перпендикулярно къ KP, то она будетъ касательная къ эллипсу въ точкѣ P (фиг. 33).



фиг. 33.

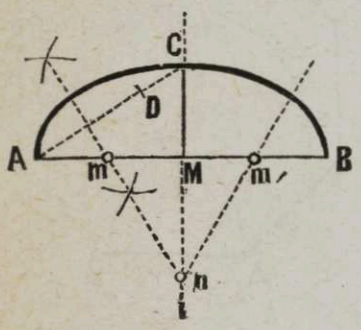
c) Изъ конца малой оси радіусомъ, равнымъ большой полуоси, опиши дугу; она пересѣчетъ большую ось въ двухъ точкахъ F_1 и F_2 — фокусахъ.

d) Прямыя линіи QF_1 и QF_2, соединяющія произвольную точку Q эллипса съ двумя фокусами, называются радіусами-векторами; сумма двухъ радіусовъ-векторовъ для каждой точки эллипса равна большой оси, такъ что

$$F_1Q + QF_2 = F_1C + CF_2 = AB.$$

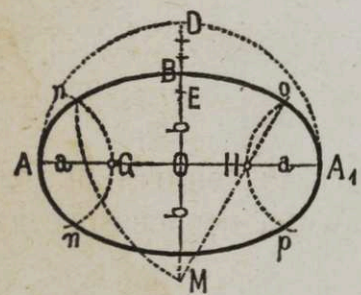
e) Изъ этихъ свойствъ выводится простой способъ вычерчиванія эллипса, если даны обѣ оси и опредѣлены оба фокуса: Въ двухъ фокусахъ укрѣпи концы нити, длина которой равна большой оси; тогда можно описать эллипсъ штифтомъ, натянувъ имъ нить и ведя его въ ней.

f) Касательная въ произвольной точкѣ Q эллипса получится, если раздѣлимъ пополамъ уголъ RQF_1, образуемый однимъ радіусомъ-векторомъ съ продолженіемъ другаго.



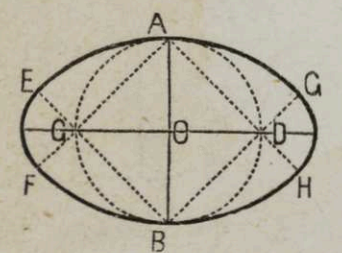
фиг. 34.

g) Приблизительное построеніе эллипса (построеніе овалов). 1) Пусть MA и MC данныя полуоси эллипса (фиг. 34). Проведи AC и сдѣлай $CD = MA - MC$; остатокъ раздѣли пополамъ посредствомъ перпендикуляра (задача I, стр. 58), который пересѣчетъ большую ось въ m, малую въ n; m и n центры, изъ коихъ можно описать дуги, дающія приблизительно четвертую часть AC эллипса. Сдѣлай $Mm_1 = Mm$, перенеси точку n на вторую половину малой оси, проведи линіи, соединяющія полученные четыре центра и закончи фигуру.



фиг. 35.

2) Даны двѣ полуоси a и b, пересѣкающіяся перпендикулярно въ O. Часть $DB = a - b$ (фиг. 35) дѣлимъ на три части и наносимъ одну изъ нихъ на OB къ E. Радіусомъ OE описываемъ теперь изъ A и A_1 круги mGn и oHp; изъ G и H тѣмъ-же радіусомъ круги mAn и oA_1p. Тогда ставимъ ножку циркуля въ O и проводимъ кругъ mM; въ M будетъ центръ для mBo; тѣмъ же радіусомъ описываемъ дугу np.



фиг. 36.

3) Простѣйшее, но не точное построеніе указано на фиг. 36. Пусть AB малая ось эллипсообразной кривой; описываемъ радіусомъ 0,5 AB кругъ изъ O; проводимъ чрезъ O линію CD перпендикулярно къ AB. Точка B будетъ центръ для круговой дуги EAG, A для FBH. Тогда проводимъ линіи ACF и BCE и пр.; точки C и D послужатъ для EF и GH.

XXV Начертить гиперболу, по даннымъ верши.

намъ A, B и фокусамъ F_1, F_2. Нѣкоторыя свойства гиперболы (фиг. 36).

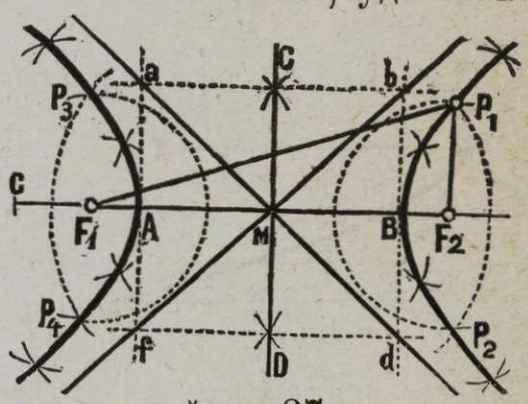
a) Въ гиперболѣ разность двухъ радіусовъ векторовъ равна оси, поэтому

$$F_1P_1 - P_1F_2 = AB.$$

На основаніи этого, если одинъ радіусъ векторъ имѣетъ длину BC, то другой долженъ имѣть длину CA. Поэтому построеніе гиперболы дѣлается такъ: Опиши сначала длиною BC, потомъ длиною AC какъ радіусами дуги круга изъ каждаго фокуса; гдѣ дуга, описанная изъ одного фокуса радіусомъ BC, пересѣчетъ другую дугу, описанную изъ другаго фокуса радіусомъ AC, тамъ получатся по двѣ точки гиперболы, такъ что сразу получатся четыре точки гиперболы P_1, P_2, P_3, P_4.

b) Опиши изъ A и B радіусомъ $\frac{F_1F_2}{2} = FM$ дуги круга, которыя пересѣкутся въ C и D; тогда линія CD, проходящая чрезъ центръ M гиперболы и перпендикулярная къ главной оси AB, будетътакъ называемая вторая ось гиперболы.

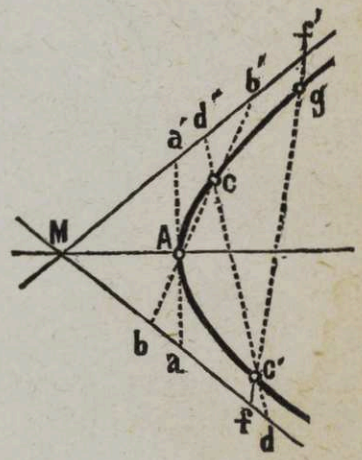
c) Чрезъ A и B проведи линіи, параллельныя второй оси, а чрезъ C и D линіи, параллельныя главной оси гиперболы; получится прямоугольникъ $abdf$, діагонали котораго чѣмъ болѣе будутъ продолжены, тѣмъ болѣе приблизятся къ вѣтвямъ гиперболы, но никогда къ нимъ не прикоснутся; онѣ называются асимптотами гиперболы.



фиг. 37.

d) Касательная въ произвольной точкѣ P гиперболы дѣлитъ пополамъ уголъ $F_1P_2F_2$ между соотвѣтствующими ей радіусами векторами (также какъ въ эллипсѣ и вообще въ каждомъ изъ коническихъ сѣченій).

e) Если даны асимптоты и какая нибудь точка гиперболы, то можно построить гиперболу слѣдующимъ образомъ: (фиг. 38). Чрезъ данную точку гиперболы, напр. A, проведи произвольную прямую bAb', которая пересѣчетъ обѣ асимптоты въ b и b'; отложи на этой прямой часть между A и ея однимъ концомъ (напр. Ab) отъ другаго ея конца назадъ (стало быть сдѣлай $b'C = Ab$), то получится вторая точка гиперболы (C). Подобнымъ же образомъ можно продолжать построеніе изъ A, изъ C или далѣе изъ точекъ, найденныхъ чрезъ C.



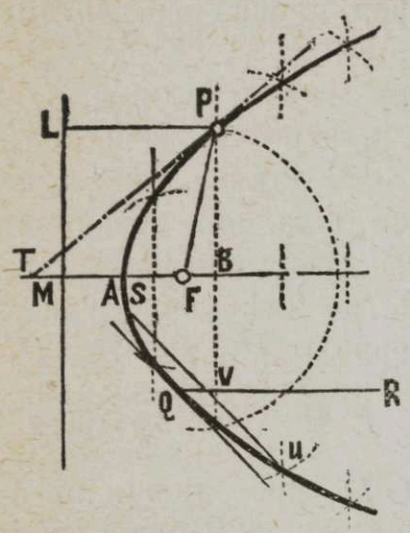
фиг. 38.

XXVI. Построить параболу*), въ которой даны вершина A и фокусъ F. Нѣкоторыя свойства параболы (фиг. 39).

a) въ параболѣ разстояніе каждой точки кривой отъ данной постоянной точки (фокуса) F равно разстоянію той же самой точки кривой отъ прямой линіи, перпендикулярной къ оси.

*) Эллипсъ, гипербола и парабола называются коническими сѣченіями, потому что они получаются отъ пересѣченія конуса плоскостію.

Проведи чрезъ A и F прямую линію, которая будетъ ось параболы; сдѣлай $MA = AF$ и проведи ML перпендикулярно къ оси, тогда ML будетъ направляющая. Чрезъ произвольную точку B на оси проведи перпендикуляръ къ ней и пересѣки его дугою круга, описанною изъ F радіусомъ MB; получатся двѣ точки параболы P на каждой сторонѣ отъ оси по одной, потому что тогда $LP = MB = FP$.

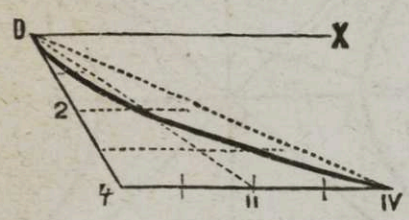


Фиг. 39.

b) Касательная PT раздѣляетъ пополамъ уголъ LPF между двумя радіусами векторами.

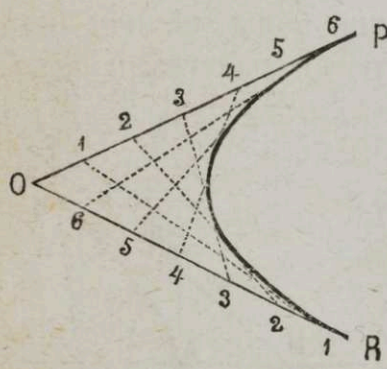
c) Всякая линія, параллельная оси, называется діаметромъ (QR) параболы и дѣлитъ пополамъ хорду, параллельная касательной въ ея конечной точкѣ (слѣдовательно $SV = VU = \frac{1}{2} SU$).

XXVII. Другіе способы построенія параболы.



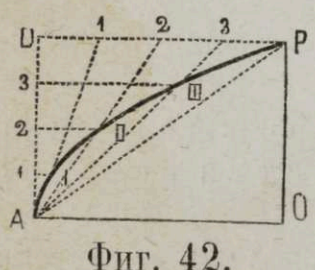
Фиг. 40.

a) Даны касательная къ точкѣ O параболы (фиг. 40), соотвѣтствующій ей діаметръ OX и еще другая точка параболы IV. Чрезъ IV проведи линію, параллельную діаметру, которая пересѣчетъ данную касательную въ 4. Раздѣли 04 и 4 IV на одинаковое число равныхъ частей и занумеруй ихъ отъ 0 къ 4 и отъ 4 (принимая ее за нуль) къ IV; проведи изъ O лучи OI, OII, OIII... и чрезъ 1, 2, 3... линіи, параллельныя данному діаметру; гдѣ они пересѣкутъ лучи одинаковыхъ съ ними нумеровъ, тамъ находятся точки параболы.



Фиг. 41.

b) Даны двѣ прямыя OR, OP (фиг. 41) пересѣкающіяся въ точкѣ O; нужно начертить дугу параболы, которая прикасается къ этимъ линіямъ въ точкахъ P и R. Раздѣли OP и OR каждую на одинаковое число равныхъ частей; занумеруй ихъ какъ показано на рисункѣ и соедини точки одного наименованія. Полученныя такимъ образомъ линіи будутъ касаться къ требуемой дугѣ параболы, которыя уже хорошо опредѣляютъ форму кривой.



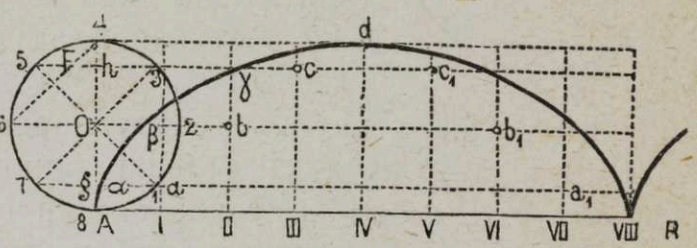
Фиг. 42.

c) Вершина A, направленіе оси AO и точка P параболы даны и должно построить оную; проводимъ AD перпендикулярно къ AO, $PD \parallel$ къ AO (фиг. 42), PD раздѣлимъ на нѣкоторое число равныхъ частей и проведемъ чрезъ лучи A_1, A_2, A_3 и т. д.; AD раздѣлимъ на то же число частей и проведемъ чрезъ точки дѣленія параллельныя къ AO. Пересѣченіе ихъ съ лучами, проведенными изъ A, даетъ точки параболы.

XXVIII. Вычерчиваніе циклоидальныхъ кривыхъ линій. Циклоидами называются кривыя линіи, описываемыя точкою

круга, когда этотъ кругъ катится по прямой или кривой (основной) линіи. Поэтому для вычерчиванія циклоиды можно либо устроить особый простой аппаратъ, или же начертить катящійся (образующій) кругъ въ различныхъ положеніяхъ, которыя онъ занимаетъ при своемъ движеніи на основной и въ каждомъ положеніи замѣтить соотвѣтствующее мѣсто точки, описывающей кривую; полученныя такимъ образомъ точки циклоиды слѣдуетъ потомъ соединить непрерывною кривою линіею.

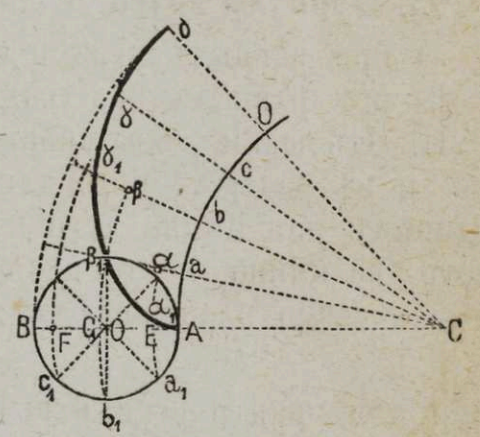
а) Циклоида. Дѣли катящійся кругъ на произвольное число частей (1—8) и проведи чрезъ нихъ параллельныя къ направляющей AB (фиг. 43). На AB отложи длину окружности круга (равную 3,00 діаметрамъ + 0,2 (= $\overline{4F}$) стороны 46 вписаннаго квадрата), которую раздѣли на то же самое число частей, какъ и кругъ (I—VIII). Возставь тогда перпендикуляры въ I, II, III....; получатся точки пересѣченія a, b, c.... Чтобы найти точки циклоиды, отложи отъ a, b, c и т. д. длины $\overline{g^7}$ къ α $\overline{06}$ къ β, $h5$ къ γ. Эти точки α, β, γ,... соедини непрерывною кривою, которая въ d имѣетъ вершину и на правой сторонѣ на столько же удаляется отъ a_1 b_2 c_3... вправо, на сколько отъ a, b, c.... влѣво на лѣвой сторонѣ.



Фиг. 43.

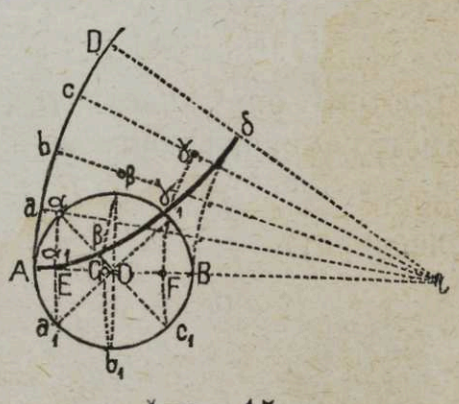
Или же: точки пересѣченія перпендикуляровъ съ линіею Obb даютъ положенія центра образующаго круга; изъ каждаго центра радіусомъ образующаго круга опиши дуги, которыя пересѣкутъ параллельныя направляющей въ точкахъ циклоиды.

b) Эпициклоида. Кругъ O (фиг. 44) катится по кругу AD, центръ котораго въ C; слѣдов. дуга AD равна дугѣ AB. Дѣли AB на столько же равныхъ частей какъ и AD; начерти круги изъ центра C чрезъ a_1 b_1c_1.... и проведи изъ C радіусы Ca, Cb, Cc; получатся точки пересѣченія α, β, γ.... Дѣйствительныя точки эпициклоиды лежатъ на $FC_1 = \gamma\gamma_1$; $Cb_1 = \beta\beta_1$ и т. д. назадъ; эти точки α_1 β_1 γ_1 соедини и получится эпициклоида. Другая часть ея симметрична съ этой, слѣд. нужно только отложить тѣ же дѣленія на другой сторонѣ.



Фиг. 44.

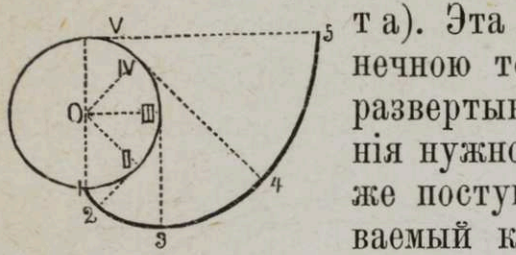
c) Гипоциклоида. Кругъ O (фиг. 45) катится въ кругѣ AD, описанномъ изъ C; слѣд. дуга AD = дугѣ AB. Дѣли обѣ дуги на одинаковое число равныхъ частей; изъ C черти круга a_1 b_1 c_1 и радіусы чрезъ a, b, c. Получатся точки α, β, γ. Дѣйствительныя точки кривой лежатъ еще на $Ea_1 = \alpha\alpha_1$, $Gb_1 = \beta\beta_1$, $Ec_1 = \gamma\gamma_1$ назадъ. Соедини точки γ_1, β_1,



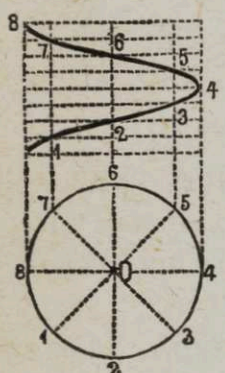
фиг. 45.

α_1 непрерывною линіею; получимъ гипоциклоиду. Другая половина ея, будучи симметрична съ первой, найдется чрезъ нанесеніе тѣхъ же частей съ другой стороны. Если радіусъ образующаго (катящагося) круга равенъ половинѣ радіуса направляющаго, гипоциклоида обращается въ діаметръ направляющаго круга.

XIX. Развертывающая круга (круговая эвольвента). Эта кривая линія описывается свободною конечною точкою нитки, когда ее навертываютъ или развертываютъ съ круга. Поэтому для ея построенія нужно либо устроить простое приспособленіе или же поступай слѣдующимъ образомъ: Дѣли развертываемый кругъ на n равныхъ частей (фиг. 46); въ этихъ точкахъ проведи касательныя къ кругу въ I, II, III и т. д. и на нихъ отложи длины, равныя линейной длинѣ дугъ (наприм. 1 III = III 3). Для этого кругъ надо спрямить ($3d + 0{,}2$ стороны квадрата); дѣли эту линію на то же самое число равныхъ частей, какъ кругъ; тогда можно легко откладывать длины дугъ на касательныхъ. Затѣмъ, черти изъ II дугу круга 1 2, изъ III дугу 2 3; получится развертывающая круга.



фиг. 46.



фиг. 47.

XX. Цилиндрическая винтовая линія. Окружность цилиндра и подъемъ винта дѣлимъ на одинаковое число равныхъ частей. Чрезъ проэкціи дѣленій горизонтальнаго круга на вертикальную его поверхность получаемъ точки винтовой линіи, которыя соединяемъ непрерывною кривою (фиг. 47).

21. Формулы круга. I. Длины двухъ дугъ круга относятся между собою:

a) при равныхъ углахъ при центрѣ, какъ радіусы;

b) при равныхъ радіусахъ, какъ углы при центрѣ.

II. Отношеніе окружности круга къ діаметру или половины окружности къ радіусу, или: длина окружности круга при діаметрѣ равномъ единицѣ или длина дуги полуокружности при радіусѣ равномъ единицѣ есть величина постоянная (одинаковая во всѣхъ кругахъ), которую обыкновенно изображаютъ греческою буквою π (пи) и тогда

$$\pi = 3{,}141592654;$$

или для практическихъ вычисленій берутъ достаточно точно

$$\left.\begin{array}{l} \pi = 3{,}1416 \text{ или } log\ \pi = 0{,}49715; \text{ или приблизительно} \\ \pi = \dfrac{22}{7}\ ,\ \dfrac{333}{106}\ ,\ \dfrac{355}{113}\ , \end{array}\right\} \ldots \quad (1)$$

Поэтому окружность p круга радіуса r или діаметра $d = 2r$ равна діаметру умноженному на отношеніе π, т. е.

$$p = \pi d = 2\pi r = 6{,}28319\ r;$$

и наоборотъ

$$\left.\begin{array}{l} d = \dfrac{p}{\pi} = 0{,}31831\ p; \\ r = \dfrac{p}{2\pi} = 0{,}15915\ p. \end{array}\right\} \ldots\ldots \quad (2)$$

Для приблизительнаго вычисленія окружностей круговъ при діаметрѣ $d = 1$ до 1000 можно пользоваться тѣмъ столбцомъ таблицы 1, надъ которымъ надписано πd; напримѣръ пусть дано $d = 9{,}45$ метра, то такъ какъ

$$p = 9{,}45 . \pi = \frac{94{,}5}{10} \pi, \text{ таблица даетъ}$$

$$\text{окружность } p = \frac{1}{10} . 296{,}9 = 29{,}69.$$

Наоборотъ для круга съ окружностію $p = 273{,}63$ таблица даетъ прямо:

$$d = 87{,}1 \text{ или } r = \frac{d}{2} = 43{,}35.$$

III. Въ практикѣ нашли удобнымъ выражать дуги круговъ точными долями окружности. Для этого всю окружность раздѣлили на 360 равныхъ частей или градусовъ, каждый градусъ на 60 равныхъ минутъ, каждую минуту на 60 секундъ, а дуги меньшія секунды условились выражать десятичными долями секунды и напримѣръ дугу въ 56 градусовъ, 27 минутъ, 45 секундъ и 8 десятыхъ секунды пишутъ $56^0 27' 45'' 8$. Слѣдовательно длину дуги круга можно выражать двояко: a) въ градусахъ и его частяхъ и b) въ линейной мѣрѣ.

По радіусу r и углу при центрѣ β^0 длина дуги круга, обхватывающей этотъ уголъ, опредѣляется посредствомъ пропорціи:

$$b : p = \beta^0 : 360^0;$$

т. е. длина дуги относится къ цѣлой окружности, какъ число градусовъ этой дуги къ 360 градусамъ. Изъ этой пропорціи выходитъ:

$$\text{длина дуги } \ldots . \quad b = p \frac{\beta^0}{360} = \pi d \frac{\beta^0}{360} = \pi r \frac{\beta^0}{180} \quad \ldots \quad (3)$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{число градусовъ } \ldots \quad \beta^0 = 180^0 \dfrac{b}{\pi r} = 57{,}2958 \dfrac{b}{r} \\ \text{и радіусъ } \ldots \ldots \quad r = \dfrac{180^0}{\beta^0} \cdot \dfrac{b}{\pi} \end{array}\right\} \ldots \ldots \quad (3)$$

При радіусѣ равномъ единицѣ по (3) имѣемъ:

$$\left.\begin{array}{l} \text{дуга } \beta = \pi \dfrac{\beta^0}{180} = 0{,}017453\, \beta^0 \\ \text{и уголъ при центрѣ} \\ \beta^0 = 57{,}2958\, \beta \text{ градусовъ.} \end{array}\right\} \ldots \ldots \quad (4)$$

ДЛИНА ДУГЪ КРУГА

при радіусѣ равномъ единицѣ.

Градус.	Длина.	Градус.	Длина.	Минут.	Длина.	Секунд.	Длина.
1	0.0 174 533	60	1.0 471 976	1	0.0 002 909	1	0.0 000 048
2	0.0 349 066	70	1.2 217 305	2	0.0 005 818	2	0.0 000 097
3	0.0 523 599	80	1.3 962 634	3	0.0 008 727	3	0.0 000 145
4	0.0 698 132	90	1.5 707 963	4	0.0 011 636	4	0.0 000 194
5	0.0 872 665	100	1.7 453 293	5	0.0 014 544	5	0.0 000 242
6	0.1 047 198	120	2.0 943 951	6	0.0 017 453	6	0.0 000 291
7	0.1 221 730	150	2.6 179 939	7	0.0 020 362	7	0.0 000 339
8	0.1 396 263	180	3.1 415 927	8	0.0 023 271	8	0.0 000 388
9	0.1 570 796	210	3.6 651 914	9	0.0 026 180	9	0.0 000 436
10	0.1 745 329	240	4.1 887 902	10	0.0 029 089	10	0.0 000 485
20	0.3 490 659	270	4.7 123 890	20	0.0 058 178	20	0.0 000 970
30	0.5 235 988	300	5.2 359 878	30	0.0 087 266	30	0.0 001 454
40	0.6 981 317	330	5.7 595 865	40	0.0 116 355	40	0.0 001 939
50	0.8 726 646	360	6.2 831 853	50	0.0 145 444	50	0.0 004 424

Для облегченія вычисленій служитъ таблица дугъ. Напримѣръ: Требуется найти длину дуги круга, для которой уголъ при центрѣ $\beta^0 = 97^0 43' 15''$ и радіусъ $r = 150$; таблица даетъ:

Градусы.	Минуты.	Секунды.	Длина дуги при $r = 1$.
90	—	—	1,5707963
7	—	—	0,1221730
—	40	—	0,0116355
—	3	—	0,0008727
—	—	10	0,0000485
—	—	5	0,0000242
97^0	$43'$	$15''$	1,7055452

поэтому при радіусѣ $r = 150$

длина дуги $= 1,7055452 . 150 = 255,83178.$

Наоборотъ пусть для дуги длиною $b = 184,352$ метра и при радіусѣ $r = 200$ метровъ требуется отыскать уголъ при центрѣ въ градусахъ:

Прежде всего опредѣлимъ $\frac{b}{r} = 0,92176$

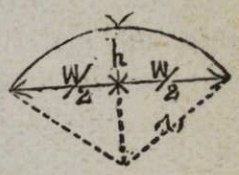
ближайшая меньшая табличная величина	0,87266	соотвѣтствуетъ 50^0
по вычитаніи остается:	0,04910	
къ этому ближайшая меньш. табл. величина	0,03491	„ 2^0
по вычитаніи остается:	0,01419	
ближайшая табличная величина:	0,01164	„ $— 40'$
остатокъ:	0,00255	
ближайшая табличная величина:	0,00233	„ $— 8'$
остатокъ:	0,00022	
ближайшая табличная величина:	0,00019	„ $— — 40''$

Поэтому искомый уголъ при центрѣ $= 52^0 48' 40''$

IV. По пролету w и стрѣлкѣ h (фиг. 48) опредѣлить радіусъ r дуги свода. Для этого служитъ формула:

$$r = \frac{1}{2h}\left\{\left(\frac{w}{2}\right)^2 + {}^2q\right\} = \frac{w}{h}\left\{\frac{1}{4} + \left(\frac{h}{w}\right)^2\right\}\frac{w}{2} \quad \ldots \quad (6)$$

Второе выраженіе иногда удобнѣе употребить, если даны не пролетъ и стрѣлка, но пролетъ и отношеніе $h : w$. Напримѣръ при пролетѣ $w = 12$ метрамъ и стрѣлкѣ $h = 3$ метр. первое выраженіе даетъ



фиг. 48.

$$r = \frac{1}{6}\left\{36 + 9\right) = 7{,}5 \text{ метр.};$$ а второе, такъ какъ

$$h : w = 1 : 4$$

$$r = 4\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{16}\right)\frac{w}{2} = \frac{5}{8}\,w = 7{,}5 \text{ метр.}$$

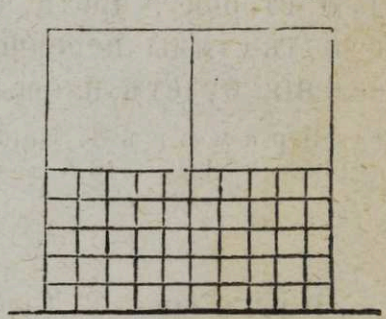
V. Пусть $l = \frac{w}{2}$ обозначаетъ половину длины хорды, a разстояніе отъ средины, гдѣ должна находиться высота b надъ хордою, тогда радіусъ

$$r = \frac{1}{2}\sqrt{\left\{\left(\frac{l^2 - a^2}{b}\right)^2 + 2a^2 + 2l^2 + b^2\right\}}; \quad \ldots \quad (7)$$

и стрѣлка

$$h = r - \sqrt{r^2 - a^2}. \quad \ldots \quad (8)$$

Объ измѣреніи площадей. Площадью называется часть плоскости, ограниченная линіями со всѣхъ сторонъ. **Квадратомъ** назыв. фигура, имѣющая четыре равныя между собою стороны и четыре равные между собою прямые угла. **Прямоугольникомъ** назыв. фигура имѣющая 4 равные между собою прямые угла и 4 стороны, изъ которыхъ противолежащія равны. **Ромбомъ** называется фигура, у которой 4 стороны и 4 угла по два равны между собою, но только углы не прямые. **Параллелограммомъ** назыв. фигура, имѣющая 4 равныхъ по два, но не прямыхъ угла и 4 стороны, изъ коихъ противолежащія равны между собою. Кругомъ называется фигура, ограниченная кривою линіею, именуемою **окружность**. Свойство же окружности состоитъ въ томъ, что всѣ ея точки удалены на одинаковое разстояніе отъ одной постоянной точки, внутри круга находящейся и именуемой **центромъ**. **Радіусомъ** круга называется линія, проведенная отъ центра до окружности. **Діаметромъ** круга наз. линія, проведенная чрезъ центръ и раздѣляющая кругъ на двѣ равныя части. **Дугою** наз. часть окружности. **Сегментомъ** наз. часть круга, заключенная между дугою и хордою, т. е. линіею стягивающею ея концы. **Стрѣлкою дуги** наз. перпендикуляръ, возстановленный изъ середины хорды къ дугѣ. **Секторомъ** назыв. часть площади круга, заключенная между двумя радіусами и дугою.


фиг. 49.

Измѣрить величину значитъ сравнить ее съ другою, ей однородною, принятою за единицу. Единицею для измѣренія площадей служитъ квадратъ. Если сторона квадрата въ 1 метръ длины, то такой квадратъ называется квадратнымъ метромъ; точно также должно понимать квадратный футъ, квадр. сажень и пр. Изъ представленной 49 фигуры видно, что квадр. метръ содержитъ 100 кв. дециметровъ; или также, что квадр. дюймъ содержитъ 100 кв. линій. Изображаютъ это такъ:

1 □ метръ = 100 □ дециметр. = 10000 □ сантим. = 1000000 □ миллиметр.

1 □ мм. =0,01 □ сантим. =0,0001 □ децим. =0,000001 □ метр.

Каждая слѣдующая единица площади въ 100 разъ менѣе предъидущей. Посему число 0,31457 квадр. метр. содержитъ: 31 кв. дециm., 45 квадр. сантим. и 70 квад. миллиметровъ.

21. Площади прямолинейныхъ фигуръ. I. Площадь параллелограмма (прямоугольника, ромба и квадрата) равна произведенію изъ одной его стороны на перпендикулярное ея разстояніе отъ противоположной стороны или, какъ обыкновенно говорятъ, равна произведенію изъ его основанія на высоту. Напримѣръ: пусть (фиг. 50) $AB = c$ есть основаніе, $CD = h$ высота параллелограмма $ABCD$, то площадь его

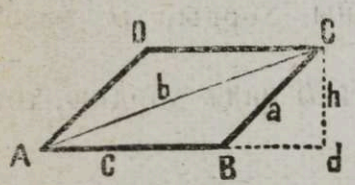
$$F = c.h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Поэтому площадь квадрата

$$F = c^2 \text{ и наоборотъ } c\sqrt{F}$$

Примѣръ. Какъ велика площадь параллелограмма, у котораго длина $AB = 20{,}5$; а ширина $Cd = 11{,}75$ метровъ.

$$F = AB.Cd = 20{,}5.\ 11{,}75 = 240{,}875 \text{ квадр. метр.}$$



фиг. 50.

II. Площадь треугольника равна половинѣ площади параллелограмма одинаковаго основанія и высоты или

а) равна половинѣ произведенія изъ основанія на высоту; поэтому площадь треугольника ABC (фиг. 50).

$$F = \frac{1}{2} c.h. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

b) Пусть a, b, c длина сторонъ треугольника, s половина суммы ихъ, такъ что

$$a + b + c = 2s$$

тогда площадь треугольника

$$F = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Правило. Умножь одну изъ сторонъ треугольника на перпендикуляръ, опущенный изъ противуположнаго угла, и половина произведенія будетъ искомая площадь; или:

Возьми половину суммы сторонъ и вычти изъ нее по одиначкѣ каждую сторону, чрезъ что получится три разности. Три разности эти и полъ-суммы перемножь между собою. Корень квадратный изъ произведенія будетъ площадь треугольника.

Примѣръ 1. Спрашивается какъ велика площадь треугольника, у котораго основаніе $AB = 16{,}5$ а перпендикуляръ $DC = 10{,}25$.

$$\frac{16{,}5 \times 10{,}25}{2} = 84{,}5625.$$

Примѣръ 2. Спрашивается какъ велика площадь треугольника, у котораго три стороны равны 8, 12 и 16?

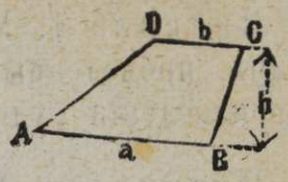
$$\frac{8+12+16}{2} = 18 \text{ полъ суммы сторонъ.}$$

$$18 - 8 = 10 \text{ первая разность.}$$
$$18 - 12 = 6 \text{ вторая разность.}$$
$$18 - 16 = 2 \text{ третья разность.}$$

$$\sqrt{18 \times 10 \times 6 \times 2} = 46{,}47 \text{ площади,}$$

III. Площадь трапеціи равна половинѣ произведенія изъ суммы

параллельныхъ сторонъ на разстояніе между ними. Напримѣръ пусть $AB = a$, $CD = b$ параллельныя стороны, h высота трапеціи $ABCD$ (фиг. 51). Тогда площадь ея

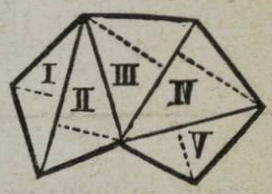


фиг. 51.

$$= \frac{a + b}{} . h. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

IV. Площадь неправильнаго многоугольника получится, если

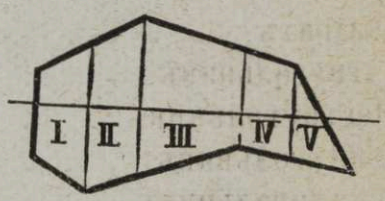
a) по параграфу 19, задача XVI, страница 63, превратимъ многоугольникъ посредствомъ чертежа въ треугольникъ равной площади и вычислимъ послѣднюю по формулѣ 2 или 3; или если



фиг. 52.

b) многоугольникъ разобьемъ діагоналями (фиг. 52) на треугольники, площади которыхъ вычислимъ отдѣльно и потомъ сложимъ; или если

c) многоугольникъ помощію линій параллельныхъ одной изъ сторонъ раздѣлимъ на нѣкоторое число трапецій, площади которыхъ вычислимъ отдѣльно и потомъ сложимъ (фиг. 53).



фиг. 53.

Примѣръ 1. Семиугольникъ фиг. 52 состоитъ изъ пяти треугольниковъ со слѣдующими размѣрами и площадями.

Нумера.	Основаніе.	Высота.	Площадь.
I	75,2 м.	25,0 м.	940,0 кв. м.
II	75 2	38,0	1428,8
III	68,7	41,6	1429,9
IV	68,7	54,2	1861,8
V	69,0	29,0	1000,5

Поэтому площадь всей фигуры . . . . . 6660,1 кв. м.

Примѣръ 2. Семиугольникъ фиг. 53 можетъ разбиться на 5 трапецій со слѣдующими измѣреніями и площадями:

Нумера.	Первое Основаніе.	Второе Основаніе.	Высота.	Площадь.
I	66,0 м.	80,4 м.	24,0 м.	1759,20 кв. м.
II	80,4	77,0	23,2	1825,84 „
III	77.0	65,0	21,7	1540,70 „
IV	65,0	49,8	16,2	929,88 „
V	49,8	0,0	23,2	577,68 „

Поэтому площадь всей фигуры . . . . . 6633,30 кв. м.

V. Площадь правильнаго многоугольника вычисляется помощію нижеслѣдующей таблицы.

Пусть s длина стороны многоугольника;
R радіусъ круга описаннаго около многоугольника;
r „ „ вписаннаго въ многоугольникѣ;
F площадь многоугольника.

Тогда $R = s.A$; $r = s.a$
$s = R.B = r.b.$
$F = s^2.C = R^2.D.$

Правило 1. Умножь сумму сторонъ многоугольника на перпендикуляръ, проведенный изъ центра къ одной изъ сторонъ. Половина этого произведенія будетъ искомая площадь.

Правило 2. Умножь квадратъ стороны многоугольника на число C, стоящее въ приложенной здѣсь таблицѣ (или квадратъ радіуса описаннаго круга на число D) и произведеніе выразитъ искомую площадь.

Таблица множителей.

Названіе многоугольника.	Множители.					
	A	a	B	b	C	D
Треугольникъ	0,577	0,289	1,732	3,463	0,433	1,299
Квадратъ.	0,707	0,500	1,414	2,000	1,000	2,000
Пятиугольникъ.	0,851	0,695	1,176	1,453	1,721	2,378
Шестиугольникъ. . . .	1,000	0,866	1,000	1,155	2,598	2,598
Семиугольникъ	1,152	1,038	0,868	0,963	3,634	2,736
Осьмиугольникъ	1,307	1,208	0,765	0,828	4,828	2,828
Девятиугольникъ. . . .	1,462	1,374	0,684	0,728	6,182	2,892
Десятиугольникъ. . . .	1,618	1,540	0,618	0,649	7,694	2,939
Одинадцатиугольникъ . .	1,775	1,704	0,563	0,587	9,366	2,937
Двѣнадцатиугольникъ . .	1,932	1,866	0,518	0,536	1,119	3,000

Примѣръ: 1) Для семиугольника, въ которомъ длина стороны $s = 5$ м., радіусъ описаннаго круга будетъ:

$$R = 5.\ 1{,}1524 = 5{,}7620 \text{ м.};$$

а площадь:

$$F = 25.\ 3{,}6339 = 90{,}8475 \text{ кв. м.}$$

Примѣръ 2) Для пятиугольника въ кругѣ радіуса $R = 8$ м. длина стороны будетъ:

$$s = 8.\ 1{,}17557 = 9{,}405 \text{ м.};$$

а площадь:

$$F = 64.\ 2{,}3776 = 152,\ 166 \text{ кв. м.}$$

22. Площади криволинейныхъ фигуръ. I. Площадь круга радіуса r или діаметра $d = 2r$ есть:

$$\left.\begin{aligned} F &= \pi r^2 = 3{,}1416\ r^2; \\ &= \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}7854\ d^2. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

т. е. площадь круга въ $\pi = 3{,}1416$ разъ болѣе площади квадрата, построеннаго на радіусѣ этого круга.

Наоборотъ изъ площади F получается:

$$\left.\begin{array}{l}\text{радіусъ } r = \sqrt{\dfrac{F}{\pi}} = 0{,}5642\sqrt{F}\\ \text{діаметръ } d = 2\sqrt{\dfrac{F}{\pi}} = 1{,}1284\sqrt{F}\end{array}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

т. е. чтобы по данной площади круга отыскать радіусъ или діаметръ его, то раздѣли прежде площадь круга на π, чрезъ что получится квадратъ радіуса, а потомъ изъ частнаго извлеки квадратный корень и помножь на 1 или на 2.

Правило. Умножь квадратъ діаметра на постоянное число 0,7854 и произведеніе будетъ искомая площадь.

Примѣръ. Найти площадь круга, діаметръ котораго равенъ 30,5.

$$(30{,}5)^2 \times 0{,}7854 = 730{,}6183\ldots.$$

Правило. Умножь корень квадратный изъ площади круга на постоянное число 1,12837 и произведеніе будетъ искомый діаметръ.

Примѣръ. Площадь круга равна 81 найти діаметръ его.

$$\sqrt{81} = 9 \times 1{,}12837 = 10{,}1553\ldots.$$

Замѣчаніе. Для облегченія и ускоренія вычисленій окружностей и площадей круговъ въ началѣ книжки помѣщена таблица.



фиг. 54.

II. Площадь кольца, находящагося между двумя окружностями радіусовъ R и r (фиг. 54), найдется, когда площадь меньшаго круга вычтемъ изъ площади большаго; поэтому

$$F = \pi\,(R^2 - r^2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

III. Площадь круговаго вырѣзка (сектора круга) съ угломъ β^0 при центрѣ (фиг. 55) относится къ площади всего круга какъ $\beta^0 : 360^0$; откуда получается:

$$F = \frac{\beta^0}{360^0}\,\pi r^2 = 0{,}008727\,\beta^0 r^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Обозначимъ b дуга вырѣзка круга съ радіусомъ r; тогда

$$F = \frac{1}{2}.\,b.r = \frac{1}{2}\,\beta r^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

гдѣ β означаетъ дугу радіуса единица, соотвѣтствующую углу β^0 при центрѣ. Площадь сектора круга равна площади треугольника, котораго основаніе есть длина дуги, а высота радіусъ круга. Если же дуга дана въ градусахъ, то надо сначала вычислить ея длину по параграфу 20, отдѣлъ III, формула 3.

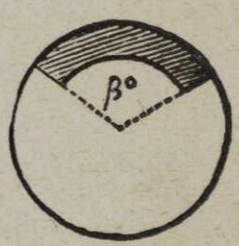


фиг. 55.

Примѣръ. Найти площадь сектора при длина дуги = 26,666 м. и радіусъ 16,9 м.

$$F = \frac{26{,}666.16{,}9}{2} = 225{,}33 \text{ кв. м.}$$

IV. Площадь части кольца съ радіусами R и r равна площади большаго сектора круга за вычетомъ площади меньшаго при одномъ и томъ же углѣ β^0 при центрѣ (фиг. 56); поэтому



фиг. 56.

$$F = \frac{\beta^0\,(R^2 - r^2)}{360^0}\,\pi = 0{,}008727\,\beta^0\,(R^2 - r^2) \quad (6)$$

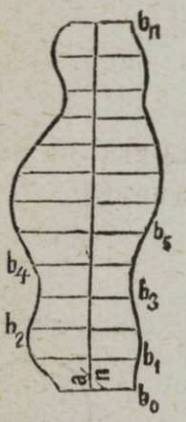
V. Площадь сегмента (отрѣзка) круга равна площади цѣлаго сектора (вырѣзка) за вычетомъ площади треугольника, составленнаго изъ хорды и двухъ радіусовъ сектора; а если сегментъ болѣе полукруга, то сысканныя площади складываются.

VI. Площадь Эллипса, коего полуоси a и b даны, получается по формулѣ:

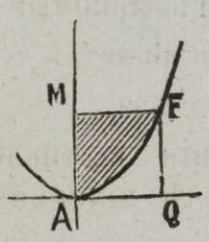
$$F = \pi ab \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7),$$

т. е. площадь Эллипса равна произведенію обѣихъ полуосей, умноженному на π.

VII. Площадь (отрѣзка) параболы AMP (фиг. 57) равна двумъ третямъ площади описаннаго прямоугольника $AMPQ$, а потому площадь параболическаго треугольника AQP равна одной трети описаннаго прямоугольника.



фиг. 58.



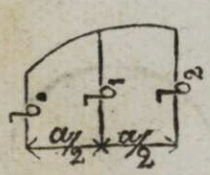
фиг. 57.

Примѣръ. При основаніи = 20 ф. и высотѣ = 12 ф. площадь будетъ = $^2/_3$ (20.12) = 160 кв. ф.

VIII. Правило Симпсона. Если нужно опредѣлить площадь фигуры, ограниченной непрерывными кривыми линіями (фиг. 58), то проведи вдоль фигуры ось и раздѣли фигуру перпендикулярами (коихъ длина b_0, b_1, b_2,... b_n) къ этой оси на узкія полосы одинаковой ширины; если число полосъ четное и полная длина оси = a, то приблизительно по правилу Симпсона

$$F = \left\{ b_0 + b_n + 2(b_2 + b_4 + \ldots + b_{n-2}) + 4(b_1 + b_3 + \ldots + b_{n-1}) \right\} \frac{a}{3n} \quad . \quad (8)$$

И такъ, если сумму крайнихъ перпендикуляровъ сложить съ учетверенною суммою перпендикуляровъ съ нечетными значками и съ удвоенною суммою перпендикуляровъ съ четными значками и потомъ сумму всѣхъ членовъ умножить на треть разстоянія между двумя перпендикулярами, то получится искомая площадь.



фиг. 59.

Если имѣемъ три перпендикуляра b_0, b_1, b_2, измѣренные на равныхъ разстояніяхъ (фиг. 52), то по этой формулѣ площадь

$$F = \frac{a}{6}(b_0 + 4b_1 + b_2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8A)$$

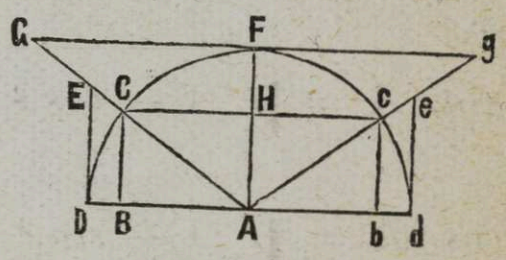
IX. Планиметръ есть инструментъ для опредѣленія площадей плоскихъ фигуръ, ограниченныхъ кривыми или прямыми линіями. Самый простой есть полярный планиметръ Амслера; описаніе его смотри въ любомъ учебникѣ Геодезіи.

II. Тригонометрія.

22. Предметъ плоской Тригонометріи. Планиметрія учитъ находить геометрическимъ построеніемъ, т. е. черченіемъ помощью линейки и циркуля, по данной сторонѣ и двумъ другимъ даннымъ частямъ (сторонамъ или угламъ) плоскаго треугольника три остальныя его части, или вообще по достаточному числу данныхъ, опредѣляющихъ треугольникъ, всѣ его части. Сдѣлавъ построеніе, можно посредствомъ масштаба и транспортира измѣрить и выразить въ числахъ всѣ части треугольника; но результаты, полученные этимъ путемъ, будутъ мало точны.

Плоская или прямолинейная Тригонометрія рѣшаетъ тѣ же задачи вычисленіемъ и находитъ части треугольника съ весьма большимъ приближеніемъ. Въ своихъ вычисленіяхъ Тригонометрія употребляетъ, кромѣ логариѳмовъ, еще особыя функціи, называемыя круговыми или тригонометрическими функціями.

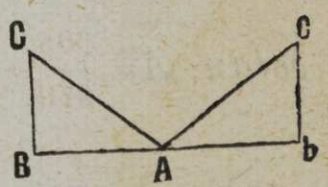
23. Тригонометрическія функціи угла. Тригонометрическія или круговыя функціи *) угла суть отношенія между сторонами прямоугольнаго треугольника, который содержитъ въ себѣ данный уголъ. Но для ясности ихъ можно также разсматривать какъ линіи, проведенныя въ извѣстныхъ положеніяхъ относительно дуги круга радіуса единица, охватывающей данный уголъ. На фиг. 60 и 61 линіи AB и AC суть двѣ прямыя, образующія между собою острый уголъ BAC. На фиг. 60 точка C есть произвольная точка на одной изъ этихъ прямыхъ, а CB перпендикуляръ опущенный изъ нея на другую прямую, вслѣдствіе чего образуется прямоугольный треугольникъ ABC. На фигурѣ 61 изъ точки A опишемъ кругъ радіусомъ, равнымъ единицѣ, который (кругъ) отсѣчетъ на обѣихъ прямыхъ части, равныя радіусу, а именно:



фиг. 61.

$$AD = AC = 1.$$

AF есть третій радіусъ, перпендикулярный къ AD. Далѣе CB и CH суть перпендикуляры, опущенные изъ C на AD и AF. Линіи DE и FG суть прямыя, касательныя къ кругу въ точкахъ D и F, вмѣстѣ съ тѣмъ перпендикулярныя къ AD и AF и пересѣкающія продолженіе линіи AC въ точкахъ E и G; тогда различныя тригонометрическія функціи угла изображаются по обоимъ способамъ слѣдующимъ образомъ:



фиг. 60.

*) Когда измѣненіе одной величины влечетъ за собою измѣненіе другой, тогда эти величины называются функціями одна другой. Напр. длина хорды есть функція стягиваемой дуги круга и обратно дуга есть функція хорды; окружность и площадь круга есть функціи его радіуса и обратно радіусъ есть функція окружности или площади круга.

		На фиг. 60.	На фиг. 61.
Sin.	Синусъ	$\frac{BC}{AC}$	$BC = AH.$
cos.	Косинусъ.	$\frac{AB}{AC}$	$AB = CH.$
sin. vers.	Синусъ верзусъ	$\frac{AC-AB}{AC}$	$BD.$
tang.	Тангенсъ	$\frac{BC}{AB}$	$DE.$
cotang.	Котангенсъ	$\frac{AB}{BC}$	$FG.$
sec.	Секансъ	$\frac{AC}{AB}$	$AE.$
cosec.	Косекансъ	$\frac{AC}{BC}$	$AG.$

Если два угла взаимно дополняютъ одинъ другой до прямаго угла, какъ напримѣръ углы BAC и BCA на фиг. 60 и углы BAC и CAF на фиг. 61, то функціи одного угла всегда равны соотвѣтствующимъ функціямъ другаго.

II. Самыя важныя соотношенія между тригонометрическими функціями угла суть слѣдующія:

Для краткости уголъ BAC будемъ обозначать буквою A; тогда

$$\sin. A = \sqrt{1 - \cos.^2 A} = \frac{\tan. A}{\sec. A} = \frac{1}{\operatorname{cosec}. A} \quad (1$$

$$\cos. A = \sqrt{1 - \sin.^2 A} = \frac{\operatorname{cotan}. A}{\operatorname{cosec}. A} = \frac{1}{\sec. A} \quad (2)$$

$$\sin. vers. A = 1 - \cos. A \quad (3)$$

$$\tan. A = \frac{\sin. A}{\cos. A} = \frac{1}{\operatorname{cotan}. A} = \sin. A . \sec. A = \sqrt{\sec.^2 A - 1} \quad (4)$$

$$\operatorname{cotan}. A = \frac{\cos. A}{\sin. A} = \frac{1}{\tan. A} = \cos. A . \operatorname{cosec}. A = \sqrt{\operatorname{cosec}.^2 A - 1} \quad (5)$$

$$\sec. A = \frac{1}{\cos. A} = \sqrt{1 + \tan.^2 A} \quad (6)$$

$$\operatorname{cosec}. A = \frac{1}{\sin. A} = \sqrt{1 + \operatorname{cotan}.^2 A} \quad (7)$$

III. О тригонометрическихъ функціяхъ тупаго угла слѣдуетъ замѣтить слѣдующее:

Тупой уголъ $bAC = BAc$, образуемый продолженіемъ BA за точку

A съ прямою AC (на фиг. 60 и 61), составляетъ дополненіе остраго угла BAC или

$$< BAc = < bAC = 180^0 - A.$$

На обѣихъ фигурахъ изъ c опустимъ $cb \perp Ab$; на фиг. 61 проведемъ $cH \perp AF$ и проведемъ касательныя de, Fg, которыя пересѣкаютъ продолженіе Ac въ e и g. Тогда на фиг. 60 прямоугольный треугольникъ Abc подобенъ ABC, а на фиг. 61 комбинація линій направо отъ AF вполнѣ тождественна съ комбинаціею линій налѣво; поэтому всѣ тригонометрическія функціи тупаго угла $180^0 - A$ по числовой величинѣ равны соотвѣтствующимъ функціямъ дополнительнаго къ нему остраго угла A за исключеніемъ синусъ верзуса, который на фиг. 61 для тупаго угла изобразится чрезъ $Db = AD + Ab = 2AD - DB$. Кромѣ того слѣдуетъ замѣтить, что косинусъ тупаго угла будетъ считаться отрицательнымъ, потому что онъ направляется отъ A въ противоположную сторону, чѣмъ косинусъ верзусъ дополнительнаго остраго угла. Поэтому въ тупыхъ углахъ всѣ другія функціи дѣлаются отрицательными, если въ ихъ выраженія (см. уравненія 1 до 7) косинусъ входитъ множителемъ или дѣлителемъ, а именно *tang.*, *cotang.* и *sec.* Слѣдовательно если формулы, первоначально примѣненныя для остраго угла, примѣнимъ къ тупому углу, то *sin.* и *cosec* удержатъ свои знаки, тогда какъ знаки *tang.*, *cotang.* и *sec* дѣлаются обратными.

Смотри слѣдующее сопоставленіе:

ЕСЛИ ψ РАВЕНЪ.

	$\pm \alpha$	$90 \pm \alpha$	$\alpha - 90$	$180 \pm \alpha$	$270 \pm \alpha$	$45 + \alpha$
sin. ψ	$\pm$ *sin.* α	$+$ *cos.* α	$-$ *cos.* α	$\mp$ *sin.* α	$-$ *cos.* α	*cos.* $(45 - \alpha)$
cos. ψ	$+$ *cos.* α	$\mp$ *sin.* α	$+$ *sin.* α	$-$ *cos.* α	$\pm$ *sin.* α	*sin.* $(45 - \alpha)$

IV. Тригонометрическія функціи угла можно также вычислить приблизительно по слѣдующимъ формуламъ:

$$\left.\begin{aligned} sin.\ \alpha &= a - \frac{a^3}{6}; \\ cos.\ \alpha &= 1 - \frac{a^2}{2}; \\ tang.\ \alpha &= a + \frac{a^3}{3}; \\ cotang.\ \alpha &= \frac{1}{a} - \frac{a}{3} - \frac{a^3}{90} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ (8)$$

Въ этихъ формулахъ a обозначаетъ дугу радіуса равнаго единицѣ, соотвѣтствующую углу A градусовъ.

24. Тригонометрическія функціи двухъ угловъ.

$$\left.\begin{aligned} sin.A &= 2\ sin.\ \frac{A}{2}\ cos.\ \frac{A}{2} = \frac{2}{cotan.\ \frac{A}{2} + tan.\ \frac{A}{2}} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1 - cos.\ 2A}{2}\right)} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (9)$$

$$\left.\begin{aligned} cos.\ A &= cos.^2\frac{A}{2} - sin.^2\frac{A}{2} = 1 - 2sin.^2\frac{A}{2} = 2cos.^2\frac{A}{2} - 1 \\ &= \frac{cotan.\ \frac{A}{2} - tan.\ \frac{A}{2}}{cotan.\ \frac{A}{2} + tan.\ \frac{A}{2}} = \sqrt{\left(\frac{1 + cos.2A}{2}\right)} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (10)$$

$$\left.\begin{aligned} tan.A &= \frac{2}{cotan.\ \frac{A}{2} - tan.\ \frac{A}{2}} = \sqrt{\left(\frac{1 - cos.\ 2A}{1 + cos.\ 2A}\right)} \\ &= \frac{sin.\ 2A}{1 + cos.\ 2A} = \frac{1 - cos.\ 2A}{sin.\ 2A} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (11)$$

Пусть A и B два угла:

$$sin.\ (A \pm B) = sin.\ A.\ cos.\ B \pm cos.\ A.\ sin.\ B \quad \ldots \quad (12)$$

$$cos.\ (A \pm B) = cos.\ A.\ cos.\ B \mp sin.\ A.\ sin.\ B \quad \ldots \quad (13)$$

$$tan.(A \pm B) = \frac{tan.\ A \pm tan.\ B}{1 \mp tan.A\ tan.\ B} \quad \ldots \quad (14)$$

$$sin.A \pm sin.\ B = 2\ sin.\frac{A \pm B}{2}.\ cos.\frac{A \mp B}{2} \quad \ldots \quad (15)$$

$$cos.A + cos.B = 2\ cos.\ \frac{A + B}{2}\ cos.\ \frac{A - B}{2} \quad \ldots \quad (16)$$

$$cos.B - cos.A = 2\ sin.\ \frac{A - B}{2}.\ sin.\ \frac{A + B}{2} \quad \ldots \quad (17)$$

$$tan.A \pm tan.B. = \frac{sin.\ (A \pm B)}{cos.A\ cos.B.} \quad \ldots \quad (18)$$

$$cotan.\ B \pm cotan.\ A = \frac{sin.\ (A \pm B)}{sin.\ A.\ sin.\ B} \quad \ldots \quad (19)$$

$$sin.^2A - sin.^2B = cos.^2B - cos.^2A = sin.(A-B)sin.(A+B). \quad (20)$$

$$cos.^2A - sin.^2B = cos.^2B - sin.^2A = cos.(A-B)cos.(A+B). \quad (21)$$

$$tan.^2A - tan.^2B = \frac{sin.\ (A - B)\ sin.\ (A + B)}{cos.^2A.\ cos.^2B} \quad \ldots \quad (22)$$

$$cotan.^2B - cotan.^2A = \frac{sin.\ (A - B)\ sin.\ (A + B)}{sin.^2 A.\ sin.^2 B} \quad \ldots \quad (23)$$

25. Употребленіе тригонометрическихъ таблицъ. I. Расположеніе таблицъ. Таблица 6. въ началѣ книги даетъ величины четырехъ тригонометрическихъ функцій: синусъ, косинусъ, тангенсъ и котангенсъ всѣхъ угловъ отъ 0^0 до 90^0 чрезъ каждыя 10 минутъ. Каждая таблица имѣетъ 8 вертикальныхъ столбцевъ; первый и послѣдній выражаютъ градусы, а шесть среднихъ даютъ соотвѣтствующія величины тригонометрическихъ линій (при радіусѣ равномъ единицѣ) въ трехъ десятичныхъ. Углы отъ 0^0 до 45^0 содержатся въ первомъ, углы отъ 45^0 до 90^0 въ послѣднемъ столбцѣ. Счетъ сверху внизъ относится къ первымъ, счетъ снизу вверхъ къ послѣднимъ. Здѣсь еще можно сообщить, что между 0^0 и 90^0 синусы увеличиваются съ угломъ, а именно отъ нуля до единицы; напротивъ косинусы при увеличеніи угла уменьшаются и для 0^0 косинусъ равенъ единицѣ, для 90^0 равенъ нулю. Одинъ взглядъ на формулы 4, 5, 6, 7 страница 80 показываетъ, что тангенсы и секансы для угловъ отъ 0^0 до 90 тоже увеличиваются, а именно первые отъ 0 до ∞, послѣдніе отъ 1 до ∞; котангенсы и косекансы напротивъ уменьшаются, первые отъ ∞ до 0, а послѣдніе отъ ∞ до 1.

II. Пріисканіе тригонометрической функціи, соотвѣтствующей данному углу дѣлается такъ:

Если уголъ менѣе 45^0, то отыскиваютъ его въ первомъ вертикальномъ столбцѣ и отъ мѣста, гдѣ онъ стоитъ, идутъ горизонтально вправо до того вертикальнаго столбца, надъ которымъ находятся минуты даннаго угла; на пересеченіи находится искомая тригонометрическая функція; напр.:

$$sin.\ 6^0 50' = 0{,}119,\ cos.\ 6^0 50' = 0{,}994,\ tang.\ 38^0\ 10' = 0{,}786 \text{ и т. д.}$$

Если уголъ болѣе 45^0, то нужно искать по надписямъ внизу; напр. для угла $54^0 20'$ ищутъ его въ послѣднемъ вертикальномъ столбцѣ и идутъ горизонтально налѣво до того вертикальнаго столбца, подъ которымъ находятся минуты даннаго угла. Напр.

$$tang.\ 54^0 20' = 1{,}393,\ cos.\ 54^0 20' = 0{,}583.$$

Впрочемъ $tang\ 54^0 20' = cotang\ 35^0 40'$ какъ функція дополнительнаго угла.

Если уголъ содержитъ такое число минутъ, котораго нѣтъ въ таблицахъ, то приходится искать тригонометр. его функцію при помощи разности между ближайшимъ большимъ и ближайшимъ меньшимъ числомъ.

Напр. пусть дано:

sin 18^0 13, то имѣемъ: $sin.\ 18^0\ 10' = 0.312$

$sin.\ 18^0\ 20' = 0.315$

Разность для $10' = 0.003$

„ для $3' = 0.003 \times 0.3 = 0.0009,$

$sin.\ 18^0\ 10' \ldots\ldots\ldots = 0.312$

слѣдоват. $sin.\ 18^0\ 13' \ldots\ldots\ldots = 0.3129$ или кругло 0.313

Далѣе пусть дано: $tan.\ 43^0\ 34'$, то имѣемъ

$tan.\ 43^0\ 30' = 9.949$

Разность для $10' = 0.005$, поэтому для $4' = + 0.002$

поэтому $tan.\ 43^0\ 34' = 0\ 951.$

Но какъ сказано было выше, косинусы и котангенсы при увеличеніи угла уменьшаются, то для этихъ функцій нужно табличныя величины ихъ уменьшить. Напримѣръ пусть дано:

$$os\ \ 18^0\ 14' = cos.\ 18^0\ 10' - 0.4 \times 0.001 = \left\{\begin{matrix} 0.950 \\ - 0.0004 \end{matrix}\right\} = 0.9496,$$

$$^c os.\ \ 67^0\ 25' = cos.\ 67^0\ 20' - 0.5 \times 0\ 001 = \left\{\begin{matrix} 0.923 \\ - 0.0005 \end{matrix}\right\} = 9.9225,$$

$$cotan.\ 34^0\ 28' = \left\{\begin{matrix} 1.464 \\ - 0.007 \end{matrix}\right\} = 1.457.$$

III. Если требуется пріискать уголъ, соотвѣтствующій данной тригонометрической функціи и при томъ если данная величина не находится прямо въ столбцѣ, то при синусахъ и тангенсахъ пріискиваютъ уголъ, соотвѣтствующій ближайшему меньшему, а при косинусахъ и котангенсахъ ближайшему большему числу; удесятеренную разность между этимъ и даннымъ числомъ раздѣляютъ на разность обоихъ табличныхъ чиселъ, между которыми находится данное число; тогда частное будетъ минуты искомаго угла.

Напримѣръ пусть требуется: $sin.\ x = 0.3679$,

$$x = 21^0\ 30' + \frac{(0\ 3679 - 0.367) \times 10'}{0.369 - 0.367}$$

$$= 21^0\ 30' + \frac{9'}{2} = 21^0\ 35'.$$

Далѣе пусть дано $cos.\ x = 0.6095$, то

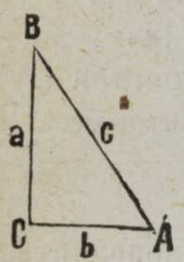
$$x = 52^0\ 20' + \frac{(0.611 - 0.6095) \times 10'}{0.611 - 0.609}$$

$$= 52^0\ 20' + \frac{15'}{2} = 52^0\ 27'.$$

Наконецъ пусть $cotan.\ x = 1.5630$, тогда имѣемъ

$$x = 32^0\ 30' + \frac{(1.570 - 1.563) \times 10'}{1.570 - 1.560}$$

$$= 32^0\ 30' + \frac{70'}{10} = 32^0\ 37'.$$



фиг. 62.

26. Рѣшеніе прямоугольныхъ треугольниковъ. Въ прямоугольномъ треугольникѣ ABC, фиг. 62, обозначаетъ C прямой уголъ и каждая сторона обозначается маленькою буквою, соотвѣтственно большой буквѣ противолежащаго угла; слѣд. c есть гипотенуза. Стороны AC и BC, заключающія прямой уголъ, называются катетами.

I. Даны катеты a, b; найти углы A, B и гипотенузу c. То

$$cotan.\ B = tang.\ A = \frac{a}{b} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$cotan.\ A = tang.\ B = \frac{b}{a} \text{ и } B = 90^0 - A. \quad . \quad (2)$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \frac{a}{sin.\ A} = \frac{b}{cos.\ A} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Правило. Если даны катеты и ищутъ гипотенузу, надобно изъ суммы квадратовъ катетовъ извлечь квадратный корень.

II. Даны катетъ a, гипотенуза c; найти A, B, b; тогда:

$$sin.\ A = \frac{a}{c} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$cos.\ B = \frac{a}{c}\ ;\ \text{и } B = 90^0 - A \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Правило. Если даны гипотенуза и катетъ, то для отысканія другаго катета надо изъ разности квадратовъ ихъ извлечь квадратный корень.

III. Даны a, A; найти b, c;

$$b = a\ cotan.\ A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

$$c = \frac{a}{sin.\ A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

IV. Даны b, A; найти a, c;

$$a = b\ tan.\ A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

$$c = b\frac{b}{cos.\ A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

V. Даны c, A; найти a, b;

$$a = c\ sin.\ A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

$$b = c\ cos.\ A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

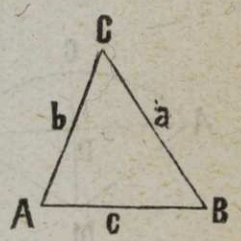
Примѣръ I. Крыша имѣетъ (пролетъ) 20 метровъ и подъемъ 5 метр., найти длину стропильныхъ ногъ. Здѣсь даны $a = {}^{20}/_{2} = 10$; $b = 5$; поэтому длина стропильныхъ ногъ по (3).

$$c = \sqrt{100 + 25} = 11{,}18 \text{ метра}.$$

Примѣръ 2. Верхушка дымовой трубы видна наблюдателю, стоящему отъ ея средины на разстояніи 89 метр. и на одной высотѣ съ ея основаніемъ, подъ угломъ 34° 10′ къ горизонту; найти высоту трубы? Здѣсь $b = 89$ м., $A = 35^0\ 40'$, поэтому по формулѣ (9) высота трубы

$$a = 89.\ tang\ 35^0\ 40' = 89.0718 = 63{,}9 \text{ метра}.$$

27. Рѣшеніе косоугольныхъ треугольниковъ. Въ косоугольномъ треугольникѣ ABC фиг. 63 буквы a, b, c обозначаютъ стороны, противолежащіе угламъ A, B, C. Если одинъ уголъ тупой, а не всѣ острые, какъ показано на фигурѣ, то въ нижеслѣдующихъ формулахъ слѣдуетъ перемѣнить знаки при косинусахъ, тангенсахъ и котангенсахъ.



фиг. 63.

Изъ шести величинъ (3 стороны, три угла) треугольника должны быть даны три, изъ коихъ по крайней мѣрѣ одна сторона. Главныя употребительныя правила суть слѣдующія:

A. Правило косинусовъ: „Въ косоугольномъ треугольникѣ квадратъ каждой стороны равенъ суммѣ квадратовъ двухъ прочихъ сторонъ безъ удвоеннаго произведенія изъ этихъ двухъ сторонъ и косинуса угла между ними заключеннаго“, т. е.

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\ cos.\ A \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

B. Правило синусовъ: „Стороны треугольника относятся между собою, какъ синусы угловъ имъ противолежащихъ“, поэтому

$$a : b : c = sin.\ A : sin.\ B : sin.\ C \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

или

$$\frac{a}{sin.\ A} = \frac{b}{sin.\ B} = \frac{c}{sin.\ C} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2A)$$

т. е. во всякомъ треугольникѣ отношеніе стороны къ синусу противолежащаго ей угла есть величина постоянная.

I. Даны всѣ три стороны a, b, c; найти уголъ, напримѣръ, A. Тогда:

$$cos.\ A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

или если $\frac{1}{2}(a+b+c)=s$, то

$$sin.\ A=\frac{2}{bc}\sqrt{s\,(s-a)\,(s-b)\,(s-c)} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$cos.\ \frac{A}{2}=\sqrt{\frac{s\,(s-a)}{bc}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$sin.\ \frac{A}{2}=\sqrt{\frac{(s-b)\,(s-c)}{bc}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

II. Даны двѣ стороны $(a,\ b)$ и уголъ A, противолежащій одной изъ данныхъ сторонъ; найти три остальныя величины. Имѣемъ:

$$sin.\ B=\frac{b\ sin.A}{a};\ C=180^{0}-(A+B) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

$$c=\frac{a\ sin.\ C}{sin.\ A} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

III. Даны двѣ стороны a, b и уголъ C между ними; найти остальныя величины. По формулѣ (1) имѣемъ:

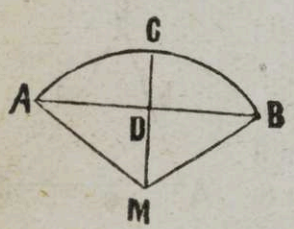
$$c=\sqrt{a^2+b^2-2ab\ cos.\ C} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

и когда c опредѣлена, то остальныя величины вычисляются по формуламъ 2 до 8.

IV. Дана сторона напримѣръ a и два угла, напримѣръ A, B; тогда:

$$C=180-(A+B) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

и прочія двѣ стороны найдутся по правилу синусовъ (формула 2).



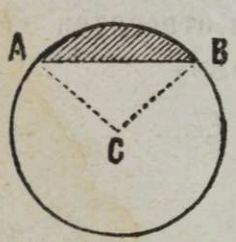
фиг. 64.

28. Примѣненіе формулъ. I. Вычислить хорду AB и стрѣлку CD дуги круга ABC фиг. 64, котораго радіусъ $MA=r$ и уголъ при центрѣ $AMB=\varphi$.

$$\text{Хорда } AB=2\,AD=2\,DB=2r\ sin.\ \frac{\varphi}{2} \quad (1)$$

$$\text{Стрѣлка } CD=CM-DM=r-r\ cos.\ \frac{\varphi}{2}=r\left(1-cos.\frac{\varphi}{2}\right) \quad (2)$$

II. Площадь отрѣзка (фиг. 65) радіуса $AC=r$ и съ угломъ при центрѣ $ACB=\varphi$.



фиг. 65.

$$F=\left(arc.\ \varphi-sin.\ \varphi\right)\frac{r^2}{2}=\left(\frac{\varphi^0\pi}{180^0}-sin.\ \varphi\right)\frac{r^2}{2}=$$

$$=\left(0{,}017435\ \varphi^0-sin.\ \varphi\right)\frac{r^2}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

III. Площадь отрѣзка Эллипса (фиг. 66) PAP, въ которомъ A обозначаетъ большую, b малую полуось,



фиг. 66.

$F=\frac{b}{a}$ умнож. на отрѣзокъ круга $QAQ=$

$$=\left(arc.\ \varphi-sin.\ \varphi\right)\frac{ab}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

III. Стереометрія.

Геометрическимъ тѣломъ называется часть пространства, со всѣхъ сторонъ ограниченная поверхностями. Поверхности могутъ быть прямыя, частію кривыя. Если двѣ поверхности тѣла находятся всегда на одинаковомъ разстояніи между собою, то они параллельны и называются основаніями, остальныя поверхности называются боковыми сторонами. При пересѣченіи двухъ поверхностей образуется линія, которая называется ребромъ.

Кубъ ограниченъ 6-ю равными квадратами. Кубъ, ребро котораго равно 1 метру, называется кубическимъ метромъ; точно также должно понять кубическій футъ, кубическій аршинъ и пр. Кубическій метръ содержитъ 1000 кубическихъ дециметровъ, ибо, разбивши его на 10 равныхъ слоевъ, каждый слой будетъ состоять изъ 10. 10 = 100 кубич. дециметр.; слѣдовательно всѣ 10 слоевъ будутъ содержать 10. 10. 10 = 1000 куб. дециметр. Поэтому въ числѣ кубическихъ метровъ первыя 3 цифры послѣ запятой означаютъ кубическіе дециметры, слѣдующія 3 кубическіе сантиметры и т. д.; напримѣръ.

2,54367245 куб. метр. = 2 куб. метр. + 543 куб. дециметр. + 672 куб. сантим. + + 450 куб. мм.

Измѣрить объемъ тѣла значитъ сравнить его съ другимъ, принятымъ за единицу. Подобно тому, какъ площади измѣряются квадратомъ, построеннымъ на линейной единицѣ, такъ объемы тѣлъ измѣряются кубомъ, котораго ребро есть линейная единица и объемъ котораго принимается за единицу объемовъ, какъ напр. кубическимъ метромъ, кубическимъ футомъ и т. д.

Когда тѣло имѣетъ два равныя и параллельныя основанія, а боковыя его стороны суть параллелограммы, то оно называется призмою. Такъ какъ основаніями могутъ быть треугольники, четырехъугольники и многоугольники, то и призмы бываютъ трехъ,—четырехъ и многогранныя. Если боковыя стороны перпендикулярны къ основанію, то призма назыв. прямою; въ противномъ случаѣ косою. Высота призмы есть перпендикулярное разстояніе отъ одного основанія до другаго. Если основаніе призмы есть параллелограммъ, то она называется параллелопипедъ, который можетъ быть прямой и косой. Если въ прямомъ параллелопипедѣ основаніе есть прямоугольникъ, то онъ называется прямоугольнымъ; онъ ограниченъ шестью прямоугольниками. Если при этомъ основаніе есть квадратъ и высота равна сторонѣ основанія, то параллелопипедъ обращается въ кубъ.

29. Объемъ тѣлъ, ограниченныхъ плоскостями. I. Призма. Объемъ V призмы съ параллельными концами равенъ площади ея основанія F, помноженной на высоту призмы h; поэтому

$$V = F . h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Объемъ прямоугольнаго параллелопипеда равняется произведенію трехъ его взаимно перпендикулярныхъ реберъ a, b, h, т. е.

$$V = a . b . h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

и объемъ куба, коего сторона основанія есть a:

$$V = a^3 \text{ и обратно } a = \sqrt[3]{V} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Пирамида. Если отъ угловъ прямолинейной фигуры, принятой за основаніе, проведемъ прямыя линіи къ какой нибудь точкѣ s, находящейся надъ основаніемъ, то получится тѣло, которое называется пирамидою; (фиг. 68) слѣд. пирамида имѣетъ въ основаніи многоугольникъ, а боковыми сторонами треугольники, число коихъ равно числу сторонъ основанія: и по которому пирамиды бываютъ трехъ,—четырехъ и многостороннія. Точка s называется вершиною пирамиды; а линія, соединяющая вершину со срединою основанія, наз. осью. Перпендикуляръ, опущенный изъ вершины на основаніе, есть высота пирамиды. Если основаніе правильно, то и пирамида назыв. правильною; а если ось перпендикулярна къ основанію, то пирамида наз. прямою.

II. Объемъ пирамиды равняется произведенію площади основанія на треть высоты пирамиды, т. е. онъ составляетъ одну треть объема призмы, которая имѣетъ одинаковыя основаніе и высоту; или

$$V = \frac{Fh}{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

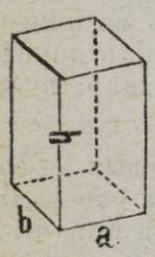
Примѣръ. Пусть основаніе параллелограммъ, коего основаніе 2,31 сантиметра и высота 1,91 сантим.; высота пирамиды пусть = 12,9 сантиметр. Тогда

$F = 2{,}31 . 1{,}91 = 4{,}4221$ квадр. сантиметр.

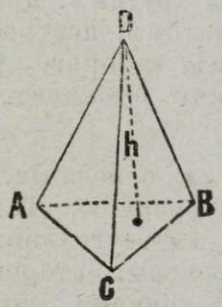
$$V = \frac{Fh}{3} = \frac{4{,}4221 . 12{,}9}{3} = 19{,}015 \text{ кубич. сантиметр.}$$

Поверхность пирамиды равна основанію плюсъ сумма площадей сторонъ. Такъ какъ стороны суть треугольники, то площади ихъ вычисляются по основаніямъ и высотамъ треугольниковъ, т. е. по сторонамъ основанія пирамиды и по перпендикулярамъ, опущеннымъ на нихъ изъ вершины пирамиды.

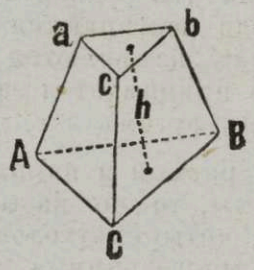
IV. Усѣченная пирамида. Если отъ пирамиды отрѣзать верхушку, то нижняя часть называется усѣченною пирамидою. Если въ усѣ-



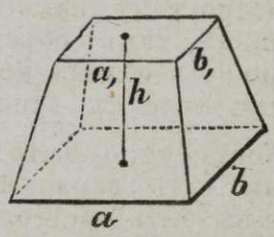
фиг. 67.



фиг. 68.



фиг. 69.

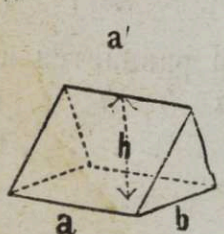


фиг. 70.

ченной пирамидѣ (фиг. 69) нижнее основаніе $= F$, а верхнее $= f$ разстояніе между ними $= h$ (т. е. высота усѣченной пирамиды), то объемъ

$$V = \frac{h}{3}\left(F + \sqrt{F \cdot f} + f\right) \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

т. е. для вычисленія объема усѣченной пирамиды надо перемножить площади ея основаній одну на другую, изъ произведенія извлечь квадратный корень; этотъ корень приложить къ суммѣ обѣихъ основаній; и полученную новую сумму умножить на треть высоты усѣченной пирамиды.



фиг. 71.

V. Обелискъ. Объемъ обелиска (фиг. 70), коего прямоугольныя основанія имѣютъ стороны a, b, и a', b', и находятся на разстояніи h, будетъ:

$$V = \left\{2(a'b' + ab) + a'b + ab'\right\}\frac{h}{6} \quad \ldots\ldots (6)$$

VI. Клинъ. Объемъ клина (фиг. 71) получится изъ предъидущей формулы, если въ ней сдѣлаемъ $b' = 0$ и тогда

$$V = \left\{2ab + a'b\right\}\frac{h}{6} = \left(2a + a'\right)\frac{bh}{6} \quad \ldots\ldots (7)$$

Правило. Къ длинѣ клина приложи удвоенную длину основанія; сумму умножь на высоту клина и ширину основанія его; одна шестая послѣдняго произведенія будетъ объемъ клина.

Примѣръ. Найти объемъ клина у котораго основаніе имѣетъ 12 дюйм. длины и 4 дюйма ширины. Длина самаго клина $a' = 10$ дюйм. и вертикальная высота $h = 20$ дюйм.

$$V = \frac{(10 + 24)\ 20.4}{6} = 453{,}33 \text{ куб. дюйм.}$$

30. Поверхности тѣлъ, ограниченныхъ криволинейно. I. Цилиндръ есть призма, основанія которой суть два параллельные круга. Линія, соединяющая центры круговъ, называется осью цилиндра. Если она перпендикулярна къ основаніямъ, то цилиндръ называется прямымъ,—въ противномъ случаѣ косымъ. Высота цилиндра равна перпендикулярному разстоянію между основаніями, слѣдов. въ прямомъ цилиндрѣ высота равна длинѣ оси.

Боковую поверхность прямаго цилиндра можно развернуть въ прямоугольникъ, длина котораго равна длинѣ окружности $2\pi r$ основанія цилиндра, а высота коего равна высотѣ цилиндра:

$$O = 2\pi r \,.\, h. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Полная поверхность цилиндра составляется изъ обоихъ основаній и боковой поверхности. Поэтому она $= 2\pi r^2 + 2\pi rh = 2\pi r(r + h)$.

Конусъ. Если основаніе пирамиды есть кругъ, то такое тѣло называется конусомъ. Прямая линія, соединяющая вершину съ центромъ круга, называется осью и въ прямомъ конусѣ перпендикулярна къ основанію.

II. Боковая поверхность конуса можетъ быть развернута въ круговой вырѣзокъ, коего радіусъ есть образующая конуса $\sqrt{r^2 + h^2}$, а дуга равна окружности основанія $2\pi r$; по этому по формулѣ 5 главы 22 на стр. 42 получимъ

$$O = \pi r \sqrt{r^2 + h_2} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Боковая поверхность конуса равна половинѣ поверхности цилиндра одинаковаго съ нимъ основанія и высота коего равна образующей конуса.

Шаръ. Тѣло, ограниченное такою кривою поверхностію, всѣ точки которой находятся на одинаковомъ разстояніи отъ нѣкоторой точки, находящейся внутри т. е. отъ центра, называется шаромъ (сферою). Всякая линія, проходящая чрезъ центръ и концы коей находятся на поверхности шара, называется діаметромъ. Разрѣзъ чрезъ центръ дѣлитъ шаръ на два равныя полушарія. Отъ всякаго другаго разрѣза получается отрѣзокъ шара (сферическій сегментъ). Два параллельные разрѣза дѣлятъ шаръ на три части, изъ коихъ обѣ крайнія будутъ отрѣзки шаровые, а средній называется шаровымъ поясомъ (сферическою зоною). Всякое сѣченіе шара даетъ кругъ. Если на такой кругъ поставить конусъ, основаніе котораго есть этотъ самый кругъ и вершина коего находится въ центрѣ шара, то получается шаровой вырѣзокъ. Если сѣченіе шара проходитъ чрезъ центръ, то оно называется большимъ кругомъ. Если радіусъ шара есть r, то площадь большаго круга $= \pi r^2$.

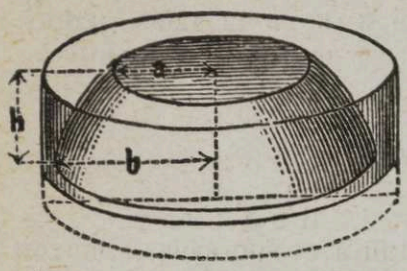
III. Поверхность шара равна четыремъ площадямъ большаго круга, слѣдовательно

$$O = 4\pi r^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

IV. Окружность большаго круга $= 2\pi r$. Поверхность шароваго пояса, а также поверхность отрѣзка шара равна боковой поверхности цилиндра, высота коего равна высотѣ пояса или отрѣзка, а радіусъ равенъ радіусу шара.

$$O = 2\pi rh \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Поверхность отрѣзка или пояса равна окружности большаго круга, умноженной на высоту отрѣзка или пояса.



фиг. 72.

a) Если a и b (фиг. 72) радіусы основаній шароваго пояса, то

$$O=\pi \sqrt{[(a+b)^2+h^2]\,[(a-b)^2+h^2]} \ . \quad (5)$$

b) Для отрѣзка шара при $b = O$ получимъ отсюда

$$O = \pi (a^2 + h^2) \ . \ . \ . \quad (6)$$

31. Объемъ тѣлъ, ограниченныхъ кривыми поверхностями. I. Объемъ цилиндра, коего параллельныя основанія суть круги и находятся одно отъ другаго на разстояніи h равенъ

$$V = \pi r^2 h \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (1)$$

т. е. объемъ цилиндра равенъ произведенію изъ площади его основанія на высоту.

a. Объемъ полаго цилиндра или цилиндрической трубы, которой наружный радіусъ R, внутренній радіусъ r и высота h.

$$V = \pi (R^2 - r^2) h \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (2)$$

т. е. равенъ площади кольца, помноженной на высоту.

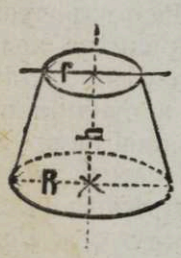
b. Объемъ свода съ угломъ β^0 при центрѣ (фиг. 54, стр. 42) и длиною l равенъ

$$V = \frac{\beta^0}{360} \pi (R^2 - r^2) l \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (3)$$

II. Объемъ прямаго круглаго конуса, основаніе котораго имѣетъ радіусъ r и высота коего равна h, равняется трети объема круглаго цилиндра одинаковой съ нимъ высоты и того же самаго радіуса, или

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (4)$$

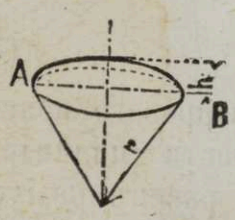
т. е. объемъ конуса равняется трети произведенія изъ площади его основанія на высоту.



фиг. 73.

a) Объемъ усѣченнаго конуса плоскостію параллельною основанію находятъ такъ: къ суммѣ квадратовъ радіусовъ основанія и сѣченія придаютъ произведеніе сихъ радіусовъ и всю полученную сумму умножаютъ на разстояніе (высоту) h, между основаніемъ и сѣченіемъ и полученное произведеніе умножаютъ на $\frac{\pi}{3} = 1{,}0472$; и такъ если радіусы основанія и сѣченія суть R и r (фиг. 71)

$$V = (R^2 + r^2 + Rr)h \frac{\pi}{3} \ . \ . \ . \quad (5)$$



фиг. 74.

III. Объемъ шара равняется произведенію $^4/_3\pi = 4{,}188$ на кубъ его радіуса r или

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = 4{,}188 r^3 \ . \ . \ . \ . \quad (6)$$

т. е. объемъ шара равенъ поверхности его, умноженной на треть радіуса.

a) Объемъ полаго шара при наружномъ радіусѣ R и внутреннемъ r

$$V = \frac{4}{3}\pi\,(R^3 - r^3) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

b) Для шароваго вырѣзка (фиг. 74) при радіусѣ шара r и при высотѣ h соотвѣтствующаго шароваго отрѣзка

$$V = \frac{2}{3}\pi r^2 h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8).$$

т. е. двумъ третямъ цилиндра, коего діаметръ равенъ діаметру шара, а высота равна высотѣ шароваго отрѣзка.

c) Для шароваго отрѣзка (сферическаго сегмента) AB (фиг. 74) объемъ получается изъ формулы

$$V = \pi h^2 (r - {}^h/_3) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9).$$

d) Для шароваго пояса (сферической зоны) или для вырѣзаннаго изъ шара кружка толщиною h съ радіусами a и b мы имѣемъ

$$V = \frac{\pi h}{2}\left(a^2 + b^2 + \frac{h^2}{3}\right) \quad \ldots\ldots (10)$$

e) Діаметръ шара называется также его высотою. Если на фиг. 75 цилиндръ, конусъ и шаръ имѣютъ одинаковую высоту $h = 2r$, а цилиндръ и конусъ имѣютъ одинаковое основаніе, коего радіусъ равенъ r шара, то объемы:

конуса $= \frac{1}{3}\pi r^2 h$ или, такъ какъ $h = 2r$,

$$V' = \frac{2}{3}\pi r^3$$

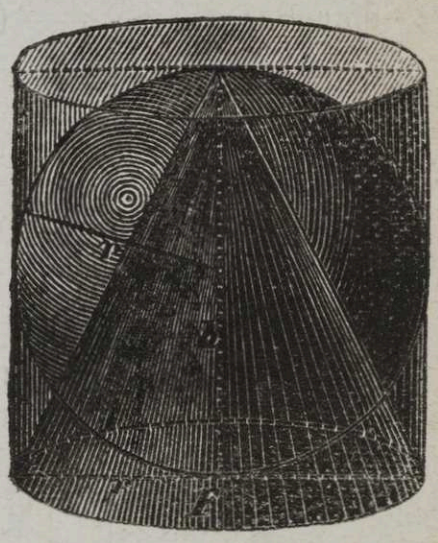
шара $= \frac{4}{3}\pi r^3 \ldots\ldots$ $V = \frac{4}{3}\pi r^3$

цилиндра $= \pi r^2 h$ или, такъ какъ $h = 2r$,

$$V = 2\pi r^3$$

Слѣдовательно объемы конуса, шара и цилиндра относятся между собою какъ

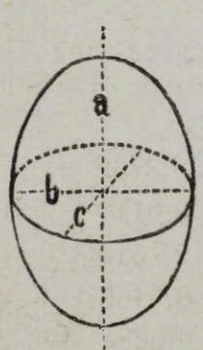
$\frac{2}{3}$, $\frac{4}{3}$ и 2 или какъ 1 : 2 : 3



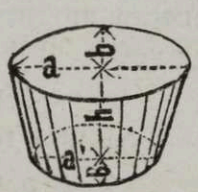
фиг. 75.

IV. Объемъ эллипсоида (фиг. 75) съ полуосями a, b, c

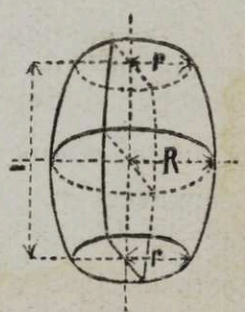
$$V = \frac{4}{3}\pi abc \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$



фиг. 76.



фиг. 77.



фиг. 78.

V. Для кадки фиг. 77. съ неодинаковыми эллиптическими основаніями,

полуоси коихъ суть a, b и a_1, b_1, при высотѣ h объемъ будетъ

$$V = \frac{\pi h}{6}\left[2(ab + a_1b_1) + ab_1 + a_1b\right] \ldots . (12)$$

VI. Объемъ бочки (фиг. 78). Если дно бочки кругъ съ радіусомъ r и внутренній радіусъ на срединѣ $= R$, внутренняя длина $= l$ и если разсматривать ее какъ составленную изъ двухъ усѣченныхъ конусовъ, то

$$V = \frac{\pi l}{3}\left(R^2 + r^2 + Rr\right) \ldots . (13)$$

Если лады бочки изогнуты по дугѣ круга, тогда

$$V = \frac{\pi l}{3}\left(2R^2 + r^2\right) \ldots . (14)$$

Если же лады изогнуты по параболѣ

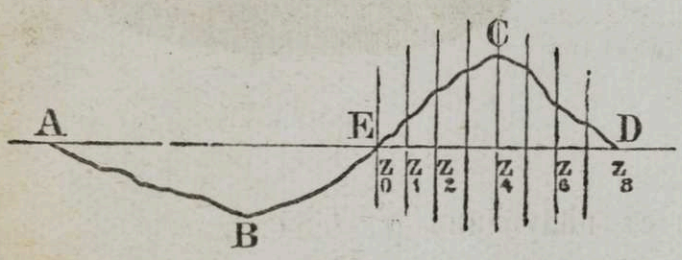
$$V = \frac{\pi l}{15}\left(8R^2 + 4Rr + 3r^2\right) \ldots . (15)$$

NB. Формула $V = \frac{\pi l}{3}(2R^2 + r^2)$ дастъ слишкомъ большія величины.

VII. Объемъ цилиндрическаго кольца толщиною d при среднемъ радіусѣ R

$$V = 2\pi R\, \pi r^2 = \frac{\pi^2 d^2}{4} \cdot 2R \ldots . (16)$$

IX. Правило Гульдена. Поверхность тѣла вращенія = длинѣ образующей l, умноженной на путь, который описываетъ ея центръ тяжести.



фиг. 79.

Объемъ тѣла вращенія, происшедшаго чрезъ вращеніе плоскости F около нѣкоторой оси, равенъ ея площади, умноженной на путь, описываемый ея центромъ тяжести. Въ обоихъ случаяхъ линія или плоскость должны находиться съ одной стороны оси и въ одной съ нею плоскости.

Примѣръ. Кругъ діаметровъ 0,12 метр., центръ коего находится на 0,4 метра отъ нѣкоторой прямой, лежащей въ плоскости круга, вращается около этой прямой. Найти поверхность и объемъ происшедшаго отъ вращенія кольца.

Круговая линія, которая вращается. .	$0{,}12 \times 3{,}14 = 0{,}3768$ м.
„ поверхность „ „	$0{,}06 \times 0{,}06 \times 3{,}14 = 0{,}0113$ □ м.
Путь центра тяжести	$2 \times 0{,}4 \times 3{,}14 = 2{,}512$ □ „
Поверхность кольца.	$0{,}3768 \times 2{,}512 = 0{,}9465$ □ „
Объемъ кольца.	$0{,}0113 \times 2{,}512 = 0{,}0284$ куб. м.

32. Общая формула для вычисленія объемовъ тѣлъ (произвольной формы). Если видъ тѣла не подходитъ подъ виды предъидущихъ отдѣленій,

то проводятъ по длинѣ его ось и назначаютъ рядъ поперечныхъ сѣченій, перпендикулярныхъ къ этой оси. Потомъ приблизительно вычисляютъ объемъ части тѣла, находящейся между двумя поперечными сѣченіями,— для чего полусумму этихъ сѣченій умножаютъ на перпендикулярное между ними разстояніе.

Точнѣе, объемъ опредѣляется чрезъ приложеніе правила Симпсона. Если h высота, а F_0, F_1, $F_2 \ldots F_n$ поперечныя сѣченія тѣла, измѣренныя на равныхъ разстояніяхъ одно отъ другаго; и n четное число

$$V = \frac{h}{3}\Big[F_0 + F_n + 4(F_1 + F_3 + F_5 + \ldots + F_{n-1}) + 2(F_2 + F_4 + F_6 + \ldots + F_{n-2})\Big].$$

Примѣръ. Нужно провести горизонтальную дорогу чрезъ неровную мѣстность такъ, чтобы свозка земли на извѣстномъ пространствѣ равнялась насыпи земли (фиг. 79). Пусть $ABCD$ будетъ продольный профиль натуральной почвы. Горизонтальная плоскость AED должна быть такъ найдена, чтобы свозка ECD = насыпи ABE. Высоту плоскости AE берутъ на-глазъ и испытываютъ правильность ея положенія такимъ образомъ:

Опредѣляютъ на равныхъ разстояніяхъ плоскости поперечныхъ разрѣзовъ Z_0 Z Z_2 Z_3 . . . перпендикулярныхъ къ ED. Пусть

$Z_0 = 0$, $Z_1 = 8{,}2$ □ ^{m}, $Z_2 = 12{,}5$ □ ^{m}; Разстояніе $d = 16{,}5$ м.
$Z_8 = 0$, $Z_3 = 14{,}7$ $Z_4 = 17{,}2$
$Z_5 = 15{,}3$ $Z_6 = 10{,}4$
$Z_7 = 7{,}8$

Объемъ свозки:

$$V = -\frac{16{,}5}{3}\{0 + 0 + 4\,(8{,}2 + 14{,}7 + 15{,}3 + 7{,}8) + 2\,(12{,}5 + 17{,}2 + 10{,}4) = = 5{,}5\,(4 \times 46{,}0 + 2 \times 40{,}1) = 1453,$$ кубич. метр.

Такимъ же способомъ опредѣляютъ объемъ насыпи. Если оба объема равны, то положеніе плоскости AED избрано правильно. Если свозка болѣе или менѣе насыпи, то должно эту плоскость взять выше или ниже. Въ этомъ случаѣ переносятъ AE на соотвѣтствующее разстояніе и повторяютъ опытъ до тѣхъ поръ, пока AE будетъ точно соотвѣтствовать назначенію.

33. О геометрическихъ отношеніяхъ. Подобными треугольниками; каковы ABC и CDE называются такіе треугольники, у которыхъ углы равны между собою, но противулежащія имъ стороны не равны, хотя и пропорціональны т. е. что

$$AC:BC = CE:DE \text{ или}$$
$$AB:BC = CD:DE.$$

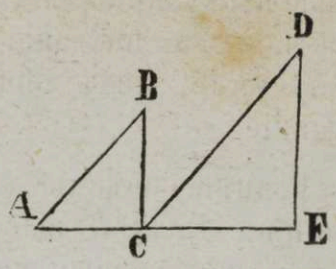
Такое свойство подобныхъ треугольниковъ имѣетъ, на практикѣ, приложеніе къ опредѣленію высоты зданій, такъ напримѣръ, пусть DE будетъ искомая высота строенія, а EC длина тѣни, брасаемой отъ него на землю солнцемъ. Для нахожденія величины DE вбиваемъ въ точкѣ C извѣстной длины колъ, и измѣряемъ длину его тѣни AC, затѣмъ пишемъ пропорцію:

$$AC:CB = CE:ED$$

если $AC = 6$ фут., BC 4 ф. и $CE = 30$ фут. то высота $ED = 20$ ф

Вообще подобными фигурами называются такія, которыя разбиваются

на подобные треугольники, одинаково расположенные. Площади подобныхъ фигуръ относятся между собою какъ квадраты сходственныхъ сторонъ.



фиг. 80.

Тѣлами подобными называются такія, коихъ поверхности состоятъ изъ одинаковаго числа подобныхъ фигуръ одинаково расположенныхъ. Подобныя тѣла относятся между собою, какъ третьи степени ихъ сходственныхъ реберъ; посему если діаметръ шара A въ 3 раза меньше діаметра шара B, то окружность A въ 3 раза, поверхность въ 9 и объемъ въ 27 разъ меньше, чѣмъ въ шарѣ B.

То же самое относится къ моделямъ, машинамъ, постройкамъ, которыя исполнены по одинаковому плану, но при различныхъ масштабахъ. Напр., если $6''$ приведены къ $1''$, то каждая площадь модели въ 36 разъ и каждый объемъ въ $6 . 6 . 6 = 216$ разъ менѣе.

Если линейные размѣры двухъ машинъ относятся, напр. какъ 3 къ 4, то объемы ихъ частей, а съ ними вѣсъ частей относятся какъ $3 . 3 . 3$ или 27 къ $4 . 4 . 4$ или 64; при этомъ вторая машина въ $64 : 27$ или 2,37 раза тяжелѣе первой.

Если пирамида будетъ усѣчена параллельно основанію, напр. на $^1/_3$ высоты, то обрѣзанная часть относится къ цѣлой пирамидѣ какъ $2 . 2 . 2$ къ $3 . 3 . 3$ или какъ 8 къ 27.

II. МЕХАНИКА.

A. Общая механика.

34. Общія понятія. Геометрія даетъ понятіе объ измѣреніи длинъ, поверхностей и объемовъ. Механика, заимствуя изъ геометріи понятіе о протяженіи, нуждается въ новомъ понятіи о матеріи или веществѣ, наполняющемъ тѣла; при томъ тѣла не неподвижны: механика слѣдитъ за ихъ движеніемъ и за причинами, производящими это движеніе, а это вводитъ понятіе о времени и о силахъ.

Матеріею или веществомъ называется все то, что вліяетъ на наши чувства (зрѣніе, осязаніе, слухъ, обоняніе и вкусъ). Тѣломъ называется всякая ограниченная часть матеріи. Всякая часть пространства, не наполненная матеріею, называется пустотою.

Различаютъ три состоянія тѣлъ: 1) твердое, 2) жидкое, 3) газообразное. Жидкости и газы часто обозначаются подъ общимъ названіемъ жидкостей.

Отличительный признакъ твердыхъ тѣлъ состоитъ во взаимномъ сцѣпленіи всѣхъ ихъ частей. Признакъ жидкостей состоитъ въ подвижности ихъ частицъ, которыя скользятъ однѣ по другимъ чрезвычайно легко. Наконецъ родовой признакъ газовъ есть расширяемость, т. е. постоянное ихъ стремленіе къ увеличенію объема; отъ этого они производятъ давленіе по всѣмъ направленіямъ на стѣнки сосудовъ, ихъ заключающихъ.

Свойствами тѣлъ называются ихъ различные способы дѣйствія на наши чувства.

Первое свойство матеріальныхъ тѣлъ состоитъ въ ихъ подвижности. Извѣстно, что всякое тѣло можетъ перемѣнять свое мѣсто относительно другихъ, которыя разсматриваются какъ неподвижныя; тогда говорятъ, что тѣло движется или находится въ движеніи; въ противномъ случаѣ, если тѣло не измѣняетъ своего положенія относительно другихъ, говорятъ, что оно находится въ покоѣ или покоится.

Понятіе о времени принадлежитъ къ числу первоначальныхъ; но оно получаетъ лучшее и яснѣйшее опредѣленіе, когда разсматривается движеніе. Разсмотрѣніе движенія показываетъ, что время есть величина, а слѣдовательно оно можетъ быть измѣряемо. За единицу времени въ механикѣ принимается секунда.

Механика есть наука о движеніи и о силахъ, его производящихъ. Силою называется всякая внѣшняя причина, которая приводитъ въ движеніе тѣло, находящееся въ покоѣ, или которая измѣняетъ движеніе тѣла, если оное уже существуетъ. Понятіе о силѣ есть первоначальное понятіе

которое мы пріобрѣтаемъ съ дѣтства вслѣдствіе усилія, какое мы должны приложить къ тѣлу, чтобъ заставить его двигаться или чтобъ измѣнить движеніе его. Существуетъ большое число силъ различной природы, напр. 1) мускульная сила людей и животныхъ, 2) частичныя силы: упругость, расширительная сила пара, силы удара, тренія и пр., 3) сила тяжести, составляющая общую причину паденія тѣлъ. Вѣсомъ тѣла называется дѣйствіе силы тяжести на это тѣло.

Силы суть количества одного и того же особаго рода. Чтобъ сравнивать ихъ между собою, нужно опредѣлить, что мы будемъ называть силами равными. Двѣ силы назыв. равными, когда при дѣйствіи ихъ на точку по одному и тому же направленію, но въ разныя стороны, точка остается въ покоѣ. Двойною силою назыв. сила, которая уравновѣшивается съ двумя равными силами, тройною — если она уравновѣшивается съ 3 равными силами и т. д.; отсюда же видно, что силы можно измѣрять.

При изученіи механики употребляются различные способы и дѣлятъ ее на части. Прежде всего механику дѣлятъ на Статику и Динамику (статика — наука о равновѣсіи тѣлъ, динамика — наука о движеніи) и начинаютъ изученіе со статики. Въ послѣднее время возникло дѣленіе механики на Кинематику и Динамику. Въ Кинематикѣ движенія разсматриваются независимо отъ силъ, ихъ производящихъ, но съ чисто геометрической точки зрѣнія; Динамика есть наука о движеніи, принимая во вниманіе дѣйствіе силъ. Но существуетъ еще третье дѣленіе механики: на механику точки и механику системы. Движеніе тѣла есть явленіе сложное; ясно, что проще разсмотрѣть сначала движеніе только одной точки; а затѣмъ разсматривая тѣло какъ совокупность точекъ, можно составить себѣ понятіе и о движеніи тѣла. Точка, движеніе которой разсматривается въ механикѣ, назыв. матеріальною; это не есть простая геометрическая точка; это есть тѣло столь малое, что измѣреніями его можно пренебрегать при разсматриваніи пройденнаго пространства, сколь бы мало послѣднее ни было. Такъ какъ матеріальная точка не имѣетъ размѣровъ, то геометрическое положеніе ея въ пространствѣ будетъ опредѣляться ея координатами, какъ положеніе простой геометрической точки; но при этомъ ей приписываются и физическія свойства, напр. говорятъ о массѣ матер. точки, о силѣ приложенной къ матеріальной точкѣ, о силѣ исходящей изъ матер. точки. Чтобы осуществить на опытѣ матеріальную точку, надо вообразить шарикъ, вполнѣ однородный, центръ коего движется.

1. Движеніе, разсматриваемое какъ явленіе.

35. Движеніе и покой — абсолютные и относительные. Движеніе есть состояніе тѣла, которое переходитъ изъ одного мѣста въ другое. Покой, напротивъ, есть состояніе тѣла, которое не перемѣняетъ своего мѣста. Абсолютные движеніе и покой тѣла суть движеніе и покой этого тѣла относительно неподвижныхъ точекъ пространства. Относительныя движеніе и покой суть движеніе и покой этого тѣла относительно точекъ, которыя сами перемѣщаются.

Примѣръ. Человѣкъ находится на пароходѣ, движущемся по рѣкѣ: если предположить, что земля неподвижна въ пространствѣ, то движеніе человѣка будетъ абсолютное относительно береговъ рѣки, а по отношенію къ самому пароходу относительное.

Въ дѣйствительности всѣ движенія вокругъ насъ суть только относительныя, ибо земля движется около самой себя и вокругъ солнца.

35. Различные роды движенія. Будетъ ли движеніе тѣла абсолютное или относительное, всегда можно разсматривать его троякимъ образомъ: 1) по формѣ линій, описываемыхъ всѣми точками тѣла; 2) по направленію движенія; 3) по отношенію къ времени.

Положимъ, что матеріальная точка описываетъ въ пространствѣ нѣкоторую линію. Движеніе точки можетъ быть только непрерывное, т. е. она можетъ перейти изъ одного положенія въ другое, только проходя послѣдовательно черезъ всѣ промежуточныя положенія. Линія, описываемая точкою, называется траэкторіею и движеніе точки бываетъ прямолинейное или криволинейное смотря по тому будетъ ли траэкторія прямая линія или кривая.

По направленію движеніе бываетъ непрерывное, когда оно совершается всегда по одному и тому же направленію, попеременное, когда оно совершается то по одному, то по другому.

По отношенію къ времени движеніе бываетъ двухъ родовъ: равномѣрное и перемѣнное. Будемъ разсматривать сначала прямолинейныя движенія.

36. Простое движеніе. I. Прямолинейное равномѣрное движеніе. Движеніе наз. равномѣрнымъ, если пространства, проходимыя точкою, измѣняются пропорціонально временамъ, употребляемымъ на ихъ прохожденіе. Если пространство l было пройдено во время θ, а пространство l' во время θ', то при равномѣрномъ движеніи имѣется пропорція

$$l : l' = \theta : \theta'.$$

Эта пропорція должна имѣть мѣсто, каковы бы ни были промежутки времени θ и θ'. Написавъ ее въ видѣ

$$l : \theta = l' : \theta'$$

мы видимъ, что въ равномѣрномъ движеніи отношеніе пройденныхъ пространствъ ко временамъ, употребленнымъ на ихъ прохожденіе, постоянно. Это отношеніе $l : \theta$ выражаетъ очевидно пространство, пройденное въ единицу времени; поэтому чѣмъ болѣе это отношеніе, тѣмъ движеніе быстрѣе и наоборотъ чѣмъ оно менѣе, тѣмъ движеніе медленнѣе. На этомъ основаніи это отношеніе называется скоростью равномѣрнаго движенія. Обозначимъ чрезъ c скорость движенія (т. е. пространство въ метрахъ, проходимое въ 1 времени (секунду), то $l = c\theta$ и $l' = c\theta'$ и вообще пространство s пройденное во время t секундъ будетъ

$$s = ct; \text{ поэтому } c = \frac{s}{t}\ ;\ t = \frac{s}{c}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Примѣръ 1. Какое пространство проходитъ поѣздъ желѣзной дороги въ продолженіе 12 минутъ, если онъ движется равномѣрно со скоростію 13 метровъ въ секунду?

Пройденное пространство $s = 13 \cdot 12 . 60 = 9360$ метровъ.

Примѣръ 2. Скорость строгальной машины $= 0{,}12$ метр.; ширина стружки $= 0{,}001$ метр.; ширина обстрагиваемой поверхности $= 0{,}4$ м. и длина ея $= 2{,}8$ м. Сколько надо времени для обстрагиванія поверхности одинъ разъ?

Число (одна возлѣ другой лежащихъ) струйекъ $= 0{,}4 : 0{,}001 = 400$.
Все пространство, проходимое рѣзцомъ $400 \times 2{,}8 = 1120$.

Употребленное время $\frac{1120}{0{,}12} = 9333$ секундъ $= 2{,}59$ часа.

II. Прямолинейное перемѣнное движеніе. Движеніе называется перемѣннымъ, когда точка въ равныя времена проходитъ неодинаковыя пространства. Оно бываетъ ускоренное, либо замедленное, смотря по тому дѣлаются ли эти пространства все болѣе и болѣе или все менѣе и менѣе. Такъ какъ въ перемѣнномъ движеніи его быстрота измѣняется непрерывно, то скоростію въ данный моментъ называется скорость такого равномѣрнаго движенія, которое приняла бы точка, еслибъ, начиная съ этого момента, быстрота движенія оставалась безъ измѣненія.

Не слѣдуетъ смѣшивать скорость перемѣннаго движенія съ пространствомъ, проходимымъ въ каждую единицу времени.

Напр. точка, которая проходитъ послѣдовательно 6 метр., 7 метр., 8 метр. и т. д. въ секунду, не имѣетъ скорость 6 метр. въ первую секунду, ни 7 метр. во вторую, ни 8 въ третью и т. д. Въ самомъ дѣлѣ очевидно, что быстрота движенія все увеличивалась; при началѣ первой секунды скорость была менѣе 6 метр., а въ концѣ этого времени она сдѣлалась напротивъ болѣе этого числа. То же самое было и для другихъ секундъ.

При перемѣнномъ движеніи бываетъ удобно замѣнять дѣйствительную, но перемѣнную, скорость, которую точка имѣетъ въ каждый моментъ, скоростію воображаемою, которая называется среднею скоростью.

Средняя скорость перемѣннаго движенія, за извѣстный промежутокъ времени, есть такая постоянная скорость, которую должна имѣть точка, чтобы пройти равномѣрно въ это время тоже самое пространство, которое она проходитъ въ дѣйствительности съ перемѣнною скоростію.

Примѣръ 1. Рабочій, дѣйствуя на конецъ рычага стоячаго ворота, проходитъ (то скоро, то медленно) 2160 метровъ въ часъ. Его средняя скорость будетъ 0,6 метра въ секунду. Ибо это есть та самая скорость, которую этотъ рабочій долженъ имѣть, чтобы пройти равномѣрнымъ движеніемъ 2160 метр. въ часъ или въ 3600 секундъ.

Примѣръ 2. Поршень въ паровомъ цилиндрѣ употребляетъ среднимъ числомъ 0,69 секундъ для совершенія одного хода, который = 1,10 метра. Его дѣйствительная скорость въ каждый моментъ его хода существенно перемѣнная; при началѣ и концѣ хода, когда мѣняется направленіе движенія, онъ даже совсѣмъ останавливается. Но если бы онъ двигался съ постоянною скоростію 1,595 метр. въ секунду, то въ теченіи 0,69 секунды онъ описалъ бы весь свой ходъ; только онъ прошелъ бы его равномѣрнымъ движеніемъ. Эта постоянная скорость 1,595 метра въ секунду есть стало быть въ точности средняя скорость поршня при каждомъ его ходѣ.

Средняя скорость постоянно употребляется для выраженія скорости движенія разныхъ частей машинъ. Она представляетъ то удобство, что перемѣнное движеніе замѣняется равномѣрнымъ, при которомъ всѣ вычисленія гораздо проще.

Формулы (1), которыя выведены для равномѣрнаго движенія, употребляются въ практикѣ и для перемѣннаго движенія, если только вмѣсто дѣйствительной скорости въ каждый моментъ будемъ разсматривать среднюю скорость за извѣстный промежутокъ времени.

Примѣръ 3. Поршень дѣлаетъ $n=43,5$ двойныхъ хода въ минуту $t=60$ секундъ: длина хода $l=1,10$ метра. Найти скорость въ секунду. Здѣсь очевидно замѣнить полное пространство s чрезъ $l.\ 2n$ въ формулѣ $c = s : t$; эта приметъ видъ:

$$c = \frac{l\ .\ 2n}{60} = \frac{1,10.2.43,5}{60} = 1,595 \text{ метра въ секунду.}$$

Замѣтимъ, что такъ какъ движеніе поршня перемѣнное, то формула эта даетъ среднюю скорость минуты, въ теченіе которой наблюдалось число ходовъ поршня. Изъ нея слѣдуетъ, что

$$\text{Длина хода поршня } l = \frac{c \cdot 60}{2n}.$$

$$\text{Число двойныхъ ходовъ поршня въ минуту } n = \frac{c \cdot 60}{2l}.$$

III. Равномѣрно ускоренное движеніе есть такое, въ которомъ скорость увеличивается въ каждую единицу времени на одну и ту же постоянную величину; это приращеніе скорости наз. ускореніемъ, Пусть v обозначаетъ скорость, пріобрѣтенную точкою въ теченіи t секундъ. и s пройденное въ то же время пространство, то имѣемъ:

a) Если скорость въ начальный моментъ движенія (когда $t=0$) была$=c$, то конечная скорость по прошествіи t секундъ

$$v = c + pt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Пройденное пространство s будетъ такое же, какое въ то же самое время точка прошла бы съ равномѣрною скоростію, равною ариѳметическому среднему изъ начальной скорости c и конечной скорости v, или

$$s = \frac{c+v}{2} t = ct + \frac{pt^2}{2} = \frac{v^2 - c^2}{2p} \quad \ldots \quad (3)$$

b) При равномѣрно замедленномъ движеніи ускореніе p будетъ отрицательное и

$$v = c - pt; \; s = \frac{c+v}{2} t = ct - p\frac{t^2}{2} = \frac{c^2 - v^2}{2p} \ldots$$

c) Часто случается, что начальная скорость $c=0$; тогда члены съ c въ формулахъ 2 и 3 изчезаютъ и будетъ:

$$v = pt; \; s = \frac{vt}{2} = p\frac{t^2}{2} = \frac{v^2}{2p}; \text{ если } t = 1, \text{ то } s = \frac{p}{2} \ldots \quad (4)$$

Отсюда: отличительный законъ всякаго равномѣрно ускореннаго движенія заключается въ томъ, что пространство, проходимое тѣломъ въ первую секунду, равно половинѣ ускоренія.

Примѣръ 1. Поѣздъ въ данный моментъ имѣетъ скорость 6 метр.; затѣмъ она увеличивается на 0,2 метра въ каждую секунду. Какова будетъ скорость поѣзда чрезъ 25 секундъ и какое пространство онъ пройдетъ въ это время;

Дано: $c = 6$ метр.; $p = 0{,}2$ метр; $t = 25$ секундъ.
Имѣемъ $v = c + pt = 6 + 0{,}25.25 = 11$ метровъ скорость чрезъ 25 секундъ.

$$s = ct + \frac{p}{2} t^2 = 6.25 + \frac{0{,}25}{2} 25^2 = 212{,}5 \text{ метр. путь чрезъ 25 сек.}$$

Примѣръ 2. Поѣздъ, прійдя въ движеніе, прошелъ въ 50 секундъ 300 метровъ. Найти ускореніе и скорость поѣзда по истеченіи 50 секундъ?

Здѣь $t = 50$ и $s = 300$; поэтому ускореніе $p = \frac{2s}{t^2} = \frac{2.300}{50 \times 50} = 0{,}24$ метра

скорость $c = pt = 0{,}24.50 = 12$ метр.

d) Свободное паденіе. Движеніе тѣла, падающаго въ пустотѣ свободно отъ тяжести, есть равномѣрно ускоренное, ибо въ каждую секунду времени оно становится быстрѣе на одну и ту же постоянную величину=9,81 метра. Эту величину принято обозначать буквою g. Слѣд. p=ускоренію отъ силы тяжести=g; пространство s=высотѣ паденія h; v скорость и t время паденія, то

$$h = g\frac{t^2}{2};\ v = gt = \sqrt{2gh};\ t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

И такъ, когда тѣла падаютъ въ пустомъ пространствѣ, отъ дѣйствія собственной тяжести, то скорости ихъ относятся между собою, какъ времена, а пространства, ими проходимыя, какъ квадраты временъ, такъ что если времена выразить:

цифрами	1, 2, 3, 4 и т. д.
Скорости выразятся чрезъ	1, 2, 3, 4 „ „ „
Пройденныя пространства, отъ начала, чрезъ. . . .	1, 4, 9, 16 „ „ „
А пространства пройденныя въ каждую единицу времени, чрезъ	1, 3, 5, 7, „ „ „

Опытами найдено, что тѣло, падая въ пустомъ пространствѣ и не имѣя начальной скорости, проходитъ въ первую секунду 4,905 метра, и по прошествіи этого времени пріобрѣтаетъ скорость, съ которою, еслибъ стало двигаться равномѣрно, то пробѣгало бы въ каждую послѣдующую секунду 9,81 метра; слѣдовательно, если въ предъидущей таблицѣ, первую строку цифръ для временъ принять за секунды, то:

по прошествіи.	1″,	2″,	3″	и т. д. метр.
Скорости будутъ	9,81	19,62	29,43	„ „ „ „
Пространства, пройденныя отъ начала	4,905	19,62	44,14	„ „ „ „
и наконецъ пространства, пройденныя въ каждую секунду времени	4,905	14,715	24,52	„ „ „ „

Изъ второй строчки цифръ въ таблицѣ видно, что по прошествіи каждой секунды, скорость падающаго тѣла увеличивается на постоянную величину 9,81 метра, которая называется ускореніемъ отъ тяжести.

1. Найти скорость, какую тѣло пріобрѣтетъ по прошествіи извѣстнаго времени.

Правило. Умножь время въ секундахъ на 9,81 и произведеніе будетъ искомая скорость въ метрахъ.

Примѣръ. Требуется узнать скорость свободно падающаго тѣла, по прошествіи 7 секундъ.

$$v = gt = 9{,}81 \times 7 = 68{,}67 \text{ метровъ скорости.}$$

2. Найти скорость, какую пріобрѣтетъ тѣло, падая съ извѣстной высоты.

Правило. Помножь удвоенную высоту, или пройденное пространство, на 9,81 и корень квадратный изъ произведенія выразить искомую скорость въ метрахъ.

Примѣръ. Спрашивается, какъ велика будетъ скорость камня, брошеннаго въ пропасть и пролетѣвшаго 60 метр.

$$v = \sqrt{2gh} = 2.9{,}81.60 = 34{,}39 \text{ метр. въ секунду.}$$

3. Найти пространство, какое пролетитъ тѣло въ извѣстное время.

Правило. Помножь квадратъ времени въ секундахъ на 9,81, и половина произведенія выразитъ искомое пространство въ метрахъ.

Примѣръ. Тѣло, падая съ башни, употребляетъ 7 секундъ. Найти высоту башни? $h = \frac{gt^2}{2} = \frac{9{,}81.7^2}{2} = 240{,}345$ метр. приблизительно, ибо формула вѣрна только для безвоздушнаго пространства.

4. Найти время, въ продолженіи котораго тѣло пролетитъ данное пространство.

Правило. Раздѣли удвоенное пространство въ метрахъ на 9,81 и корень квадратный изъ частнаго будетъ искомое время въ секундахъ.

Примѣръ. Сколько времени потребно, чтобъ тѣло прошло 60 метровъ

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2.60}{9{,}81}} = 3{,}50 \text{ секунды.}$$

e) Движеніе вертикально вверхъ. Если тѣло съ начальною скоростію c будетъ брошено вверхъ, то оно будетъ подниматься съ равномѣрно замедляющеюся скоростію до тѣхъ поръ, пока его конечная скорость будетъ $v=0$ или $c=gt$ по урав. (4), что послѣдуетъ послѣ времени $t = \frac{c}{g}$; высота подъема будетъ $s = \frac{c^2}{2g}$. Здѣсь тѣло вновь прійдетъ въ движеніе, начиная съ начальною скоростію 0, и по прохожденіи пути $s = \frac{c^2}{2g}$ возвратится къ мѣсту бросанія съ конечною скоростію $v = \frac{2s}{t} = \frac{c^2}{gt} = \frac{c^2}{c} = c$, т. е. равною скорости бросанія. Время до обратнаго прибытія тѣла будетъ вдвое болѣе времени для выхожденія на высоту s, а именно $2t = \frac{2c}{g}$.

Примѣръ. Пушечное ядро выстрѣлено со скоростію 400 метр. вертикально вверхъ Какъ высоко и какъ долго поднимается ядро, если не будемъ принимать въ соображеніе сопротивленіе воздуха?

Въ каждую секунду скорость уменьшается на 9,81 метр. и въ самой высшей точкѣ подъема она = 0, слѣдов.

Дано $v = 0$; $c = 400$ метр.; имѣемъ число секундъ $t = \frac{c}{g}$ (изъ $0 = c - tg$) $= \frac{400}{9{,}81} = 40{,}77.$

Высота подъема $s = \frac{c^2}{2g} = \frac{400 \times 400}{2.9{,}81} = 8154{,}9$ метр.

f. Когда тѣло опускается по наклонной плоскости, то законы его движенія остаются тѣ же, какъ и для паденія, но только пространство, пройденное въ первую секунду и скорость въ теченіи ея пріобрѣтен-

ная во столько разъ менѣе, во сколько разъ длина наклонной плоскости болѣе высоты ея подъема.

Примѣръ 1. Такимъ образомъ при скатѣ шара по наклонной плоскости имѣющей 30 футъ длины на 6 фут. подъема, онъ пройдетъ въ первую секунду

Пространство . . . . . $\frac{4,905}{5} = 0,981$ метр.

Во вторую секунду . . . . . 3.0,981 = 2,943 „

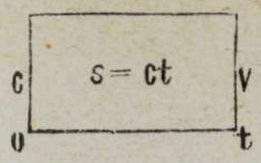
Въ третью секунду . . . . . 5.0,981 = 4,905 „

Слѣдов. ускореніе его будетъ равно . . . . . 0,981.2 = 1,962 „

Примѣръ 2. Тѣло, которое поднимается по наклонной плоскости съ начальной скоростію 10 м. и замедляется на 2 метр. въ секунду, будетъ подниматься только въ теченіи $\frac{10}{2} = 5$ секундъ и проходитъ путь $\frac{10^2}{2,2} = 25$ м.; по истеченіи 10 секундъ снова приходитъ въ точку отправленія со скоростію 10 м., а по истеченіи 12 секундъ (по форм. 3) будетъ уже не $10.2 + \frac{2.2^2}{2} = 24$ метр. ниже точки отправленія, если наклонная плоскость продолжается внизъ.

g. Таблица высотъ паденія и конечныхъ скоростей отъ 0 до 30 метр.

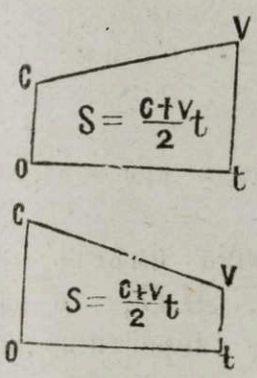
v.	h.	v.	h.	v.	h.	v.	h.
0,00	0,000000	1,45	0,10716	3,3	0,55504	11,0	6,1672
0,05	0,000127	1,50	0,11468	3,4	0,58919	11,5	6,7406
0,10	0,000510	1,55	0,12245	3,5	0,62436	12,0	7,3394
0,15	0,001147	1,60	0,13048	3,6	0,66055	12,5	7,9638
0,20	0,002039	1,65	0,13876	3,7	0,69776	13,0	8,6137
0,25	0,003186	1,70	0,14730	3,8	0,73598	13,5	9,2890
0,30	0,004587	1,75	0,15609	3,9	0,77523	14,0	9,9898
0,35	0,006244	1,80	0,16514	4,0	0,81549	14,5	10,7161
0,40	0,008155	1,85	0,17444	4,1	0,85678	15,0	11,4679
0,45	0,010321	1,90	0,18400	4,2	0,89908	15,5	12,2452
0,50	0,012742	1,95	0,19381	4,3	0,94241	16,0	13,0479
0,55	0,015418	2,00	0,20387	4,4	0,98675	16,5	13,8761
0,60	0,018349	2,05	0,21419	4,5	1,0321	17,0	14,7299
0,65	0,021534	2,10	0,22477	4,6	1,0785	17,5	15,6091
0,70	0,024975	2,15	0,23560	4,7	1 1259	18,0	16,5138
0,75	0,028670	2,20	0,24669	4,8	1,1743	18,5	17,4439
0,80	0,032620	2,25	0,25803	4,9	1,2238	19,0	18,3996
0,85	0,036825	2,30	0,26962	5,0	1,2742	19,5	19,3807
0,90	0,041284	2,35	0,28147	5,5	1,5418	20	20,3874
0,95	0,045999	2,40	0,29358	6,0	1,8349	21	22,4771
1,00	0,050968	2,45	0,30594	6,5	2,1534	22	24,6687
1,05	0,056193	2,50	0,31855	7,0	2,4975	23	26,9623
1,10	0,061672	2,6	0,34455	7,5	2,8670	24	29,3578
1,15	0,067406	2,7	0,37156	8,0	3,2620	25	31,8552
1,20	0,073394	2,8	0,39959	8,5	3,6825	26	34,4546
1,25	0,079638	2,9	0,42864	9,0	4,1284	27	37,1560
1,30	0,086137	3,0	0,45872	9,5	4,5999	28	39,9592
1,35	0,092890	3,1	0,48981	10,0	5,0968	29	42,8644
1,40	0,099898	3,2	0,52192	10,5	5,6193	30	45,8716



фиг. 81.

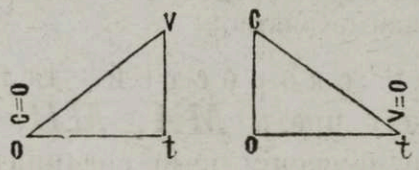
IV. Пространство, пройденное съ извѣстною скоростію, можно изобразить графически, въ видѣ площади, если будемъ откладывать времена какъ абсциссы, а скорости въ каждую единицу времени какъ ординаты.

a) Пространство, пройденное равномѣрнымъ движеніемъ, представится при этомъ въ видѣ прямоугольника (фиг. 81).



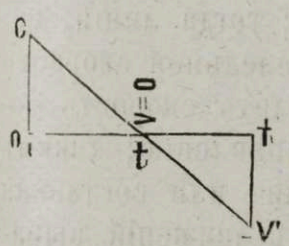
фиг. 82.

b) Пространство, пройденное равномѣрно ускореннымъ или замедленнымъ движеніемъ, представится въ видѣ трапеціи (фиг. 82); а если начальная или конечная скорость была нуль, то въ видѣ треугольника (фиг. 83).

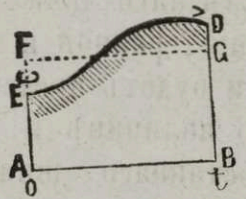


фиг. 83.

Въ примѣрѣ 1 и 2, страница 59, когда по истеченіи времени t движеніе происходитъ отъ нуля въ обратную сторону, пространство изображается двумя треугольниками (фиг. 84).



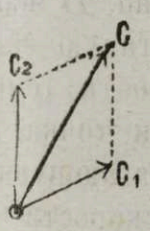
фиг. 84.



фиг. 85.

c) При неравномѣрномъ движеніи площадь, представляющая пройденный путь, ограничена сверху кривою линіею (фиг. 85) и величина этой площади вычисляется по правилу Симпсона, данному въ первомъ отдѣлѣ третьей части.

Средняя скорость, соотвѣтствующая пространству s, пройденному въ данное время t съ неравномѣрною скоростію, и которая есть та равномѣрная скорость, при которой было бы пройдено то же самое пространство въ то же самое время, найдется, если площадь фигуры $A\ B\ D\ E$ раздѣлимъ на ея основаніе, т. е. пройденный путь на время.



фиг. 86.

37. Составное движеніе. I. Параллелограммъ скоростей и ускореній. Если точкѣ одновременно сообщаются двѣ различныя скорости c_1 и c_2 по направленіямъ, образующимъ между собою уголъ α, то онѣ слагаются въ составную скорость, которая по величинѣ и направленію выражается діагональю параллелограмма (фиг. 86), построеннаго на составляющихъ скоростяхъ, (если эти скорости представить прямыми линіями). Эта равнодѣйствующая или скорость составнаго движенія есть

$$c = \sqrt{c_1^2 + c_2^2 + 2c_1\ c_2\ cos\alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

а уголъ $coc_1 = \alpha_1$, который она образуетъ съ направленіемъ c_1, находится изъ формулы

$$sin\alpha_1 = \frac{c_2\ sin\alpha}{c} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

II. Если данную скорость c слѣдуетъ разложить на двѣ составляющія скорости c_1 и c_2, направленіе коихъ образуютъ съ нею углы α_1 и α_2, то

$$c_1 = \frac{c \sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \quad \text{и} \quad c_2 = \frac{c \sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Частные случаи:

a) Если составляющія образуютъ между собою уголъ прямой, то

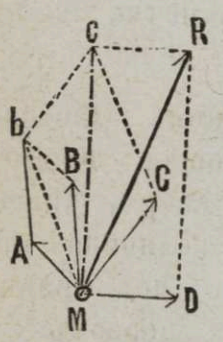
$$c = \sqrt{c_1^2 + c_2^2}\ ;\ tang\alpha_1 = \frac{c_2}{c_1}\ ;\ c_1 = c\cos\alpha_1;\ c_2 = c\sin\alpha.$$

b) Если составляющія скорости образуютъ между собою уголъ $\alpha = 0$ или $\alpha = 180$ т. е. направлены по одной и той же прямой линіи, то

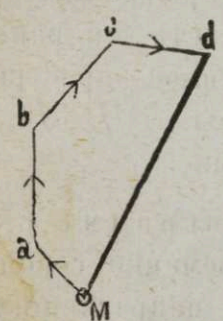
$$c = c_1 = c_2$$

т. е составная скорость равна алгебрической суммѣ составляющихъ, при чемъ онѣ могутъ имѣть одинаковые или разные знаки.

III. Многоугольникъ скоростей. Если точка имѣетъ нѣсколько скоростей выраженныхъ чрезъ ***MA***, ***MB***, ***MC***, ***MD***, то для полученія скорости составнаго движенія надо соединять эти скорости по двѣ (фиг. 87) по правилу параллелограмма скоростей и тогда мы увидимъ, что для полученія составной скорости надобно сдѣлать такое построеніе; изъ конца линіи, представляющей скорость перваго движенія, проведемъ линію равную и параллельную скорости втораго движенія; изъ конца эгой линіи проведемъ линію, равную и параллельную скорости движенія третьяго и т. д. до скорости послѣдняго движенія; тогда линія, соединяющая конецъ линіи, равной и паралельной скорости послѣдняго движенія, и будетъ представлять скорость составнаго движенія, по величинѣ и направленію; такимъ образомъ скорость составнаго движенія или составная скорость нѣсколькихъ прямолинейныхъ движеній выразится по величинѣ и направленію послѣднею замыкающею стороною многоугольнаго контура, послѣдовательныя стороны коего равны и параллельны скоростямъ составляющихъ движеній.

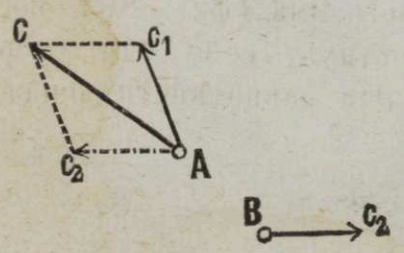


фиг. 87.



фиг. 88.

IV. Относительное движеніе. (Фиг. 89). Если точка A имѣетъ нѣкоторую скорость c_1, а другая точка B скорость c_2, то движеніе A относительно B найдется, если обѣимъ точкамъ сообщимъ еще такую скорость, которая равна и противуположна скорости точки B; вслѣдствіе этого B прійдетъ въ покой и точка A получитъ составную скорость, слагающуюся изъ ея собственной абсолютной скорости c_1 и изъ сообщенной ей скорости — c_2 и соотвѣтствующую по величинѣ и направленію относительному движенію точки A относительно B; для нея приложимы также формулы (1) и (2) страница 102.

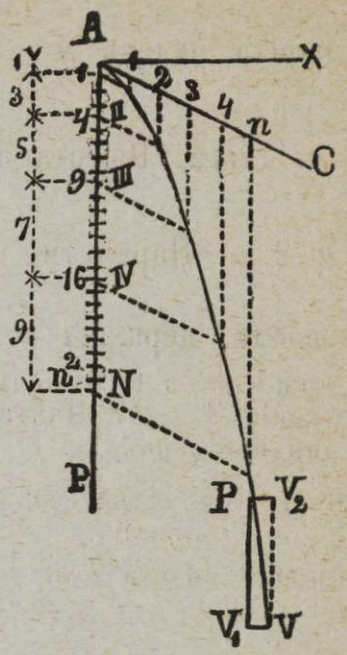


фиг. 89.

V. При сложеніи и разложеніи ускореній поступаютъ точно также и расчитываютъ по тѣмъ же формуламъ, подставляя вмѣсто скоростей c, c_1, c_2 ускоренія p, p_1, p_2.

VII. Если точка имѣетъ скорость c и ускореніе p, направленія которыхъ образуютъ уголъ $cAp = \alpha$ (фиг. 81), то на основаніи предъидущаго имѣемъ:

	Пройденное пространство по направленію. Ac равномѣр. скорость.	Ap ускореніе.
по прошествіи 1 секунды	c	$\frac{p}{2}$
» » 2 »	$2c$	$\frac{4p}{2}$
» » 3 »	$3c$	$\frac{9p}{2}$
» » 4 »	$4c$	$\frac{16p}{2}$
и т. д.	и т. д.	и т. д.



фиг. 90.

Поэтому можно начертить параболическій путь точки слѣдующимъ образомъ (фиг. 81). На линіи AC откладываемъ пространства, соотвѣтствующія скорости c; на линіи Ap пространства, соотвѣтствующія ускоренію p отъ точки A; чрезъ это на первой получимъ точки 1, 2, 3..., на второй точки I, II, III... Потомъ чрезъ точки I, II, III... проведемъ параллели къ Ac, а чрезъ точки 1, 2, 3... параллели къ Ap; точки пересѣченія одноименныхъ линій будутъ точки пути движущейся точки, которые и соединяемъ теперь непрерывною кривою линіею.

Для мѣста P, въ которомъ точка находится по прошествіи t секундъ, мы имѣемъ составляющія скорости подъ прямымъ угломъ:

$$v_1 = pt + c\cos\alpha;\ v_2 = c\sin\alpha \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

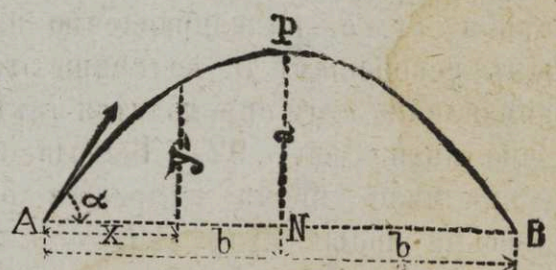
а равнодѣйствующая или составная скорость есть

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \sqrt{c^2 + 2cpt\cos\alpha + p^2t^2} \quad \ldots \quad (5)$$

и ея направленіе опредѣляется по формуламъ:

$$\left.\begin{aligned} \sin(vPv_1) &= \frac{c\sin\alpha}{v}; \text{ или} \\ tang(vPv_1) &= \frac{v_2}{v_1} = \frac{c\sin\alpha}{c\cos\alpha + pt} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (6.$$

a) Движеніе верженія — полетъ метательныхъ снарядовъ, пущенныхъ съ нѣкоторою начальною скоростію. Ядро или снарядъ можно разсматривать, какъ точку, въ которой сосредоточена вся масса ядра. Пусть ядро или тяжелая матеріальная точка начинаетъ свой полетъ изъ точки A (фиг. 91); пусть α уголъ наклона сообщенной точкѣ равномѣрной скорости съ горизонтальною линіею, проведенною чрезъ точку отправленія A. Ускореніе движенія будетъ g, такъ какъ дѣйствующая во время движенія сила есть сила притяженія земли.



фиг. 91.

Если v есть начальная скорость движенія, то по прошествіи времени ордината будетъ $y = vt\sin\alpha - \frac{gt^2}{2}$ и соотвѣтствующая абсцисса $x = vt\cos\alpha$. Высота полета $a = \frac{v^2}{2g}\sin^2\alpha$; дальность полета $b = \frac{v^2}{g}\sin 2\alpha$. Параметръ линіи полета $p = \frac{2v^2}{g}\cos^2\alpha$. Линія полета есть парабола, вершина которой находится въ P.

Примѣръ 1. Пушечное ядро пущено со скоростію $v = 400$ метр. подъ угломъ верженія $\alpha = 35^0$. Найти время для прохожденія всего пути? Найти высоту подъема и дальность полета?

По тригонометрической таблицѣ $\sin 35^0 = 0{,}5736$ и $\cos 35^0 = 0{,}8192$.

Высота полета $\alpha = \frac{v^2}{2g}\sin 2\alpha = \frac{400^2 \times 0{,}5736^2}{2.9{,}81} = 2683$ метра.

Дальность полета $b = \frac{v^2\sin 2\alpha}{g} = \frac{2v^2\sin\alpha\cos\alpha}{g} = \frac{2.400^2.0{,}5736.0{,}8192}{9{,}81} = 15329$ мет.

При концѣ полета ордината $y = 0$ и $t = T$, такъ что

$0 = v\,T\sin\alpha - g\frac{T^2}{2}$; $v\,T\sin\alpha = g\frac{T^2}{2}$; $2v\sin\alpha = gT$; $T = \frac{2.400{,}0{,}576}{9{,}81} =$
$= 23{,}39$ сек.

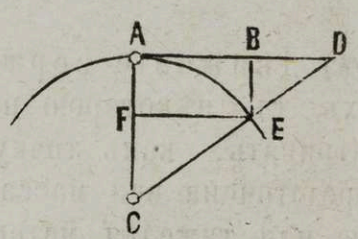
Наибольшая дальность полета достигнется тогда когда $\sin 2\alpha$ получаетъ свою наибольшую величину, т. е. если $\sin 2\alpha = 1$ или $\alpha = 45^0$ и тогда она $= \frac{v^2}{g}$ слѣд. вдвое болѣе, чѣмъ наибольшая вертикальная высота бросанія, достигаемая при такой же начальной скорости.

Примѣръ 2. Какой наклонъ нужно дать дулу орудія, если ядро имѣетъ начальную скорость 500 метровъ въ секунду и должно попасть въ точку, находящуюся на одной высотѣ съ орудіемъ на разстояніи 3000 метровъ?

Здѣсь $\sin 2\alpha = \frac{300.9{,}81}{250000} = 0{,}11772$; $2\alpha = 6^0 46^1$; $\alpha = 3^0 23^1$.

Примѣчаніе. Мы разсматривали движеніе ядра, предполагая, что оно совершается въ пустотѣ и слѣдов. пренебрегая сопротивленіемъ воздуха, поэтому это есть только первое приближеніе къ дѣйствительному движенію ядра въ воздухѣ.

VII. Движеніе по кругу вообще. а) Равномѣрное вращательное движеніе. Если точка, соединенная нитью съ неподвижнымъ центромъ, должна двигаться по кругу съ равномѣрною скоростію c, то это движеніе можно разсматривать какъ состоящее въ каждый моментъ изъ двухъ: одного по направленію касательной со скоростію c и другаго по направленію къ ней перпендикулярному (т. е. по направленію нити) съ постояннымъ ускореніемъ p; величина этого ускоренія по направленію нити опредѣлится такъ: Пусть $CA = r$ длина нити (фиг. 92). Выходя изъ A, точка въ весьма малое время τ прошла бы съ скоростію c весьма малый путь $AB = c\tau$ и въ то же время подъ вліяніемъ ускоренія p она отступаетъ на длину $BE = \frac{1}{2}p\tau^2$; и по истеченіи времени τ она находится въ E,



фиг. 92.

поэтому

$$r^2 = CF^2 + FE^2 = \left(r - \frac{p\tau^2}{2}\right)^2 + c^2\tau^2;$$

откуда

$$rp - \frac{p^2\tau^2}{4} = c^2$$

но такъ какъ τ весьма мало, то членъ съ τ^2 можно отбросить и

$$p = \frac{c^2}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Время T, употребляемое точкою для одного оборота съ равномѣрною скоростію c, будетъ

$$T = \frac{2\pi r}{c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

b) Скорость другой точки на разстояніи единицы длины отъ центра вращенія, вращающейся одновременно съ данною точкою A, называется у г л о в о ю с к о р о с т і ю w этого движенія и

$$\frac{w}{c} = \frac{1}{r} \text{ или } w = \frac{c}{r}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

поэтому при данной угловой скорости имѣемъ:

$$c = w.\ r;\ p = w^2 r;\ T = \frac{2\pi}{w} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

c) Если точка дѣлаетъ n оборотовъ въ минуту, то $n\ T = 60$ секундъ, поэтому время одного оборота $T = \frac{60}{n}$ . . . . . (16)

Откуда при посредствѣ формулы (15) получаемъ

$$w = \frac{2n\pi}{60};\ c = \frac{2n\pi r}{60};\ p = \frac{4n^2\pi^2 r}{3600} \quad \ldots\ldots \quad (17)$$

Ускореніе, съ коимъ точка стремится разорвать нить и которое должно быть равно противоположному ему ускоренію отъ нити $\frac{c^2}{2}$ (фор. 12) наз. ц е н т р о б ѣ ж н ы м ъ у с к о р е н і е м ъ.

П р и м ѣ р ъ 1. Водяное колесо имѣетъ скорость на окружности 1,5 метра и радіусъ 2,9 метра; сколько секундъ употребляетъ оно на одинъ оборотъ и сколько дѣлаетъ оборотовъ въ минуту?

Число секундъ на 1 оборотъ $t = \frac{2r\pi}{c} = \frac{2.2,9.3,14}{1,5} = 12,14.$

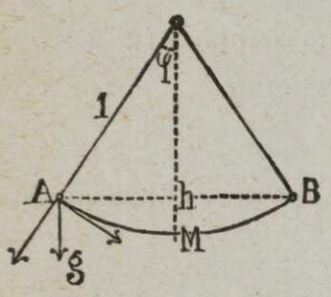
Число оборотовъ въ 1 минуту $n = \frac{60c}{2\pi r} = \frac{60.1,5}{2.3,14.2,9} = 4,942$

или $n = \frac{60}{12,14} = 4,942.$

П р и м ѣ р ъ 2. Маховикъ дѣлаетъ 36 оборотовъ въ минуту, имѣя діаметръ 3,8 м. Какова скорость на окружности и каково время одного оборота?

$c = \frac{2r\pi n}{60} = \frac{3,8.3,14,36}{60} = 7,159$ м., $t = \frac{2r\pi}{6} = \frac{3,8.3,14}{7,159} = 1,667$ секундъ.

VIII. Движеніе маятника. Маятникомъ наз. всякое тѣло, качающееся вокругъ горизонтальной оси, не проходящей чрезъ его центръ тяжести. Отъ этого, такъ называемаго физическаго, маятника нужно отличать математическій, воображаемый состоящій изъ тяжелой точки, соединенной съ осью невѣсомымъ прутомъ. Длину физическаго маятника можно опредѣлить приблизительно. такъ: Подвѣшиваютъ маленькій свинцовый шарикъ на тонкой ниткѣ такъ, чтобы этотъ маятникъ имѣлъ одинаковое время качанія съ разсматриваемымъ физическимъ маятникомъ; тогда разстояніе оси этого вспомогательнаго маятника отъ центра свинцоваго шарика и есть длина физическаго маятника. Время полнаго качанія математическаго маятника, т. е. время необходимое для прохожденія дуги AMB будетъ:



фиг. 93.

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left\{1 + \left(\frac{1}{2}\ sin.\ \frac{\varphi}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4} sin^2.\ \frac{\varphi}{2}\right)^2 + \ldots\right\}$$

При маломъ углѣ отклоненія:

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{h}{8l}\right);\ \text{для}\ \varphi < 5^0,\ t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1{,}0031\sqrt{l};$$

$l = 0{,}9938t^2$.

Длина секуннаго маятника ($g = 9{,}81$), $t = 1$; $l = \frac{g}{\pi^2} = 0{,}9938$ метра.

Примѣръ. Какова должна быть длина маятника, который въ минуту дѣлаетъ 40 простыхъ качаній?

Время одного качанія $t = 60 : 40 = 1{,}5$ сек. Длина маятника $l = 0{,}9938(1{,}5)^2 = 2{,}246$ метра.

II. Причины и сопротивленія движенія.

38. Главныхъ законовъ движенія считается три:

1) Законъ инерціи. Онъ состоитъ изъ 2 частей: a) если точка находится въ пространствѣ въ покоѣ, то она будетъ находиться въ покоѣ до тѣхъ поръ, пока какая либо внѣшняя причина на нее не подѣйствуетъ; b) если точка находится въ движеніи и если никакая вдѣшняя причина на нее не вліяетъ, то движеніе точки будетъ прямолинейное и равномѣрное.

Силою называется всякая внѣшняя причина, которая приводитъ въ движеніе тѣло, находящееся въ покоѣ, или которая измѣняетъ движеніе тѣла, если оно уже существуетъ. Разсматривая силу, всегда нужно различать: 1) ея точку приложенія, 2) направленіе по которому она дѣйствуетъ, и 3) ея напряженіе или величину. Если напр. мы тянемъ тѣло нитью, конецъ которой прикрѣпленъ къ одной изъ точекъ тѣла, тогда точка прикрѣпленія нити есть точка приложенія силы, направленіе нити

есть направленіе силы и натяженіе нити есть напряженіе или величина силы, зависящая отъ усилія, какое мы употребляемъ.

Измѣрить силу значитъ найти ея напряженіе, т. е. узнать, сколько разъ она содержитъ другую силу, взятую за единицу; слѣд. нужно избрать единицу. Такъ какъ сила тяжести или вѣсъ представляетъ силу наиболѣе распространенную въ природѣ, то и сравниваютъ съ нею всѣ другія силы. По этой причинѣ за единицу силы принимается килограммъ, т. е. вѣсъ литра воды при 4,1° С. При выбранной единицѣ вѣса вѣсъ другихъ тѣлъ опредѣляется помощію вѣсовъ; а величина другихъ силъ измѣряется посредствомъ динаметровъ, выражая ее въ опредѣленномъ числѣ килограммовъ. Кромѣ того сила можетъ быть разсматриваема, какъ геометрическая величина; если точка M есть та точка, на которую сила дѣйствуетъ, то мы можемъ, изобразивши ея направленіе, отложить на немъ столько линейныхъ единицъ, сколько килограммовъ въ силѣ; отложивъ такую линію MA, мы говоримъ, что линія MA представляетъ силу по величинѣ и направленію.

2) Законъ дѣйствія и противодѣйствія. Если на матер. точку A дѣйствуетъ нѣкоторая сила, то эта сила непремѣнно исходитъ отъ другой матеріал. точки B, находящейся отъ A въ нѣкоторомъ разстояніи, и въ то же время на точку B будетъ дѣйствовать другая сила, исходящая изъ точки A; эти двѣ силы суть дѣйствіе и противодѣйствіе; онѣ равны и прямо противоположны, т. е. дѣйствуютъ по противоположному направленію и именно по линіи, соединяющей точки ихъ приложенія. Силы эти могутъ быть притягательныя, если стремятся сблизить точки A и B, и отталкивательныя, если стремятся увеличить разстояніе AB.

3) Законъ относительнаго движенія или начало независимости движеній. Если система матеріальныхъ точекъ имѣетъ общее поступательное движеніе въ пространствѣ и если на одну изъ точекъ этой системы дѣйствуетъ сила, то движеніе, сообщаемое этою силою, будетъ независимо отъ общаго поступательнаго движенія системы, т. е. перемѣщеніе этой точки относительно другихъ точекъ системы будетъ совершенно такое, какое было бы, если бы вся система была въ покоѣ, а данная сила дѣйствовала на разсматриваемую точку.

40. Изученіе силъ. I. Силы раздѣляются въ механикѣ на два рода: 1) постоянныя и 2) перемѣнныя. Постоянными силами назыв. такія, которыя для всякаго даннаго момента сохраняютъ свою величину и направленіе; перемѣнныя силы въ каждый моментъ измѣняютъ свою величину и направленіе.

а) Постоянная сила, дѣйствующая на матеріальную точку, находящуюся въ покоѣ, сообщаетъ ей движеніе прямолинейное и равномѣрно ускоренное и обратно если точка имѣетъ движеніе прямолинейное и равноускоренное, то оно происходитъ отъ дѣйствія постоянной силы, направленной по линіи движенія точки.

b) Ускоренія, сообщаемыя матеріальной точкѣ двумя различными постоянными силами, относятся между собою какъ силы; короче говоря, ускоренія, сообщаемыя постоянными силами, пропорціональны силамъ.

Пусть постоянная сила P, дѣйствуя на матеріальную точку, сообщаетъ ей ускореніе w; а сили P_1, дѣйствуя на ту же точку, сообщаетъ ей ускореніе w_1; сила P_2 сообщаетъ ускореніе w_2 и т. д.

$$\frac{P}{w} = \frac{P_1}{w_1} = \frac{P_2}{w_2} = \frac{P_1}{w_1} = . \quad . \quad . = m.$$

Это отношеніе m, постоянное для одной матеріальной точки, есть число отвлеченное и назыв. массою точки. Если k вѣсъ матеріальной точки и g ускореніе сообщаемое этою силою ($g = 9{,}81$ метра), то $m = \frac{k}{g}$, т. е. массы пропорціональны вѣсамъ и когда вѣсъ извѣстенъ, то и масса опредѣлится.

II. Тѣло есть совокупность матеріальныхъ точекъ. Массою тѣла называется отношеніе вѣса G тѣла къ ускоренію g силы тяжести; если M обозначаетъ массу тѣла, то

$$M = \frac{G}{g} \text{ и } G = Mg; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

для метрической системы мѣръ

$$M = 0{,}1019G; \; G = 9{,}81M;$$

для англійской системы мѣръ

$$M = 0{,}03108G; \; G = 32{,}18M.$$

Если $G = g$, то $M = 1$; слѣд. если вѣсъ тѣла G содержитъ въ себѣ g киллограммовъ, то есть $G = 9{,}81$ киллогр., то масса этого тѣла равна единицѣ.

Изъ этого понятія о массѣ вытекаетъ новое средство для измѣренія постоянной силы. Возьмемъ равенство $\frac{P}{w} = m$; отсюда $P = m.w$ и можно сказать, что постоянная сила измѣряется произведеніемъ массы на ускореніе, производимое этою силою.

Примѣръ. Тѣло въ 64 куб. дециметра съ удѣльнымъ вѣсомъ 3,5 имѣетъ абсолютный вѣсъ

$$G = 64{,}3{,}5 = 224 \text{ килогр.}$$

и массу

$$M = \frac{G}{g} = 0{,}1019G = 0{,}1019 \, . \, 224 = 22{,}83.$$

III. Чтобы массѣ M сообщить ускореніе p необходима постоянная сила:

$$P = Mp = \frac{G}{g} \, p; \text{ и обратно } p = \frac{P}{M} = \frac{P}{G} . g \quad . \quad . \quad (2) \text{ и } (3)$$

Примѣчаніе. Если тѣло свободно падаетъ въ пустомъ пространствѣ, то его движеніе ускоряется равномѣрно; его ускореніе $= 9{,}81$ м. Дѣйствующая здѣсь сила есть вѣсъ тѣла; если этотъ вѣсъ будетъ болѣе, то ускореніе все таки $= 9{,}81$ м., потому что большій вѣсъ долженъ привести въ движеніе соотвѣтственно большую массу. Но эта величина ускоренія, постоянная при паденіи тѣла при дѣйствіи на него только его вѣса, не обязательна для другихъ ускорительныхъ движеній; она могла быть болѣе или менѣе 9,81 м., смотря по тому, во сколько разъ болѣе или менѣе сила дѣйствующая на тѣло сравнительно съ его собственнымъ вѣсомъ.

Правило. Умножь силу, производящую движеніе, на постоянное число 9,81 м. и произведеніе раздѣли на вѣсъ движущагося тѣла, или тѣмъ, если ихъ много; частное будетъ ускореніе въ метрахъ въ секунду для разсматриваемаго случая.

Примѣръ 1. Пусть на концы шнурка, огибающаго блокъ, привѣшено по грузу G, напр. по 40 килограммовъ. Равновѣсіе сохраняется до тѣхъ поръ, пока къ одному изъ грузовъ не прибавимъ вѣсъ P, положимъ одного килограмма. Тогда начнется равномѣрно ускоренное движеніе съ одной стороны груза $G + P$ внизъ, съ другой — груза G вверхъ. Требуется опредѣлить условія этого движенія?

Здѣсь движущая сила равна $P = 1$ килограмму. Вѣсъ движущихся тѣлъ равенъ $G + P + G = 2G + P = 81$ килограмму. Слѣдовательно ускореніе $p = \frac{P}{2G+P} g = \frac{1}{89} . 9{,}81 = 0{,}121$ метра, т. е. это движеніе будетъ въ 81 разъ медленнѣе, чѣмъ свободное паденіе тѣлъ.

Пространство, пройденное въ первую секунду, $\frac{0{,}121}{2} = 0{,}0605$ метра.

И такъ по прошествіи	1″	2″	3″	и т. д.
Скорости будутъ	0,121	0,242	0,363	
Пространства, пройденныя отъ начала . .	0,0605	0,2420	0,5445	
Пространства, пройденныя въ каждую секунду	0.0605	0,1815	0,3025	

Примѣръ 3. Паровозъ имѣетъ 30000 килогр. вѣса; этотъ вѣсъ причиняетъ на пути постоянное сопротивленіе 400 килограм. Если на паровозъ дѣйствуетъ постоянная движущая сила пара въ 2400 килогр., то какъ велико ускореніе движенія и какое пространство пройдетъ паровозъ въ теченіи 1 минуты отъ состоянія покоя?

Давленіе P на паровозъ за вычетомъ сопротивленія равно 2000 килогр. Слѣдов.

$$p = \frac{P}{G} g = \frac{2000}{30000} . 9{,}81 = \frac{1}{15} . 9{,}81 = 0{,}654 \text{ метра.}$$

т. е. ускореніе въ 15 разъ менѣе, чѣмъ при свободномъ паденіи.

По формулѣ $h = \frac{1}{2} gt^2$ пройденной въ минуту $= 60$ секундъ путь:

$$h = \frac{1}{2} . 0{,}654 . 60 . 60 = 1177 \text{ метр.}$$

Примѣръ 3. Ободъ маховика вѣситъ 4000 килогр. Этотъ ободъ долженъ быть такъ двигаемъ постоянною силою, дѣйствующею на средней окружности обода, чтобъ онъ въ 3 минуты получилъ скорость 10 метр. Найти величину этой силы.

3 минуты $= 180$ сек. При помощи этого времени и скорости 10 м. изъ формулы $v = pt$ получимъ ускореніе движенія

$$p = \frac{v}{t} = \frac{10}{180} = \frac{1}{18} \text{ метра.}$$

Для этой величины p по формулѣ $P = p\frac{G}{g}$ получимъ $P = \frac{4000}{18 . 9{,}81} = 22{,}65$ килогр. Если треніе шиповъ могло бы быть преодолѣно силою 12 килогр., которая дѣйствовала бы на средней окружности обода, то вся сила для движенія была бы $12 + 22{,}65 = 34{,}65$ килогр. Если этотъ маховикъ, пріобрѣтя скорость 10 м., будетъ предоставленъ теперь самому себѣ, то чрезъ сколько секундъ онъ остановится отъ трепія шиповъ? Произойдетъ равномѣрно замедленное движеніе отъ силы $= 12$ килогр. Время этого движенія будетъ во столько разъ болѣе времени на пусканіе въ ходъ, во сколько разъ 12 килогр. менѣе силы $P = 22{,}65$ килогр. Поэтому это время $= 180\frac{22{,}65}{12} = 339{,}7$ секундъ.

Примѣръ 4. Во сколько времени упадетъ на отковываемую вещь молотъ въ 325 килогр. вѣсомъ, если сверхъ собственной тяжести его гонитъ внизъ еще давленіе пара, равное 650 килогр.

Здѣсь дѣйствующая сила P равна 650 + 375 = 975 килогр.. Вѣсъ движущагося тѣла, молота G = 325 килогр. Слѣд. ускореніе будетъ $\frac{975}{325} . 9{,}81 = 29{,}43$ мил.

При трехъ футахъ хода молота по правилу 4 получимъ:

$$t = \sqrt{\frac{2.0{,}914}{29{,}43}} = \sqrt{0{,}0622} = 0{,}25 \text{ секунды.}$$

Еслибъ молотъ падалъ подъ вліяніемъ только собственной тяжести то онъ спустился бы въ $\sqrt{\frac{0{,}914.2}{9{,}81}} = 0{,}43$ секунды.

V. Центробѣжная сила. Если тѣло движется по кругу, то въ каждый моментъ оно имѣетъ стремленіе двигаться прямолинейно по касательной къ кругу; сила, отклоняющая тѣло отъ круга, наз. центробѣжною; а сила, ей равная и противоположная, которая заставляетъ тѣло двигаться по кругу, назыв. центростремительною. Если G вѣсъ въ килогр., который движется по дугу радіуса r въ метр. со скоростію v метровъ, и такъ какъ ускореніе отъ центробѣжной силы есть $f = \frac{v^2}{r}$, то эта сила

$$C = \frac{Gv^2}{gr} = 0{,}102\frac{v^2G}{r} = \frac{4\pi^2n^2Gr}{3600 . g} = 0{,}001005n^2Gr.$$

Она прямо пропорціональна квадрату скорости и обратно пропорціональна радіусу кривизны.

Примѣръ 1. Ободъ маховика имѣетъ радіусъ 2 м. и движется со скоростію 12 м. Какъ велика центробѣжная сила, съ которою каждая часть обода стремится отдѣлиться отъ оси?

Ускореніе отъ ц. б. силы $f = \frac{12 . 12}{2} = 72$ м. Ускореніе при свободномъ паденіи = 9,81 м.; слѣд. отъ ц. б. силы въ 7,33 раза болѣе; стало быть центробѣжная сила, дѣйствующая на какую нибудь часть обода, въ $7\frac{1}{3}$ разъ болѣе вѣса этой части.

Примѣръ 2. Въ цилиндр. барабанѣ отжимки находятся мокрые платки; барабанъ вращается около верт. оси 800 разъ въ минуту. Отъ этого вода, находящаяся въ платкахъ, вслѣдствіе центробѣжной силы выбрасывается чрезъ отверстія барабана. Какъ велика эта центробѣжная сила въ капляхъ воды, находящихся на разстояніи 0,24 м. отъ оси?

Скорость вращенія капель $= \frac{2.0{,}24\ 3{,}14.80}{60} = 20{,}1$ м. Ускореніе $f = \frac{20{,}1\ .20{,}1}{0{,}24} =$ = 1683 м. Слѣд. центробѣжная сила относится къ вѣсу капель, какъ 1683 къ 9,81; поэтому она въ $\frac{1683}{9{,}81} = 172$ раза болѣе вѣса капель.

IV. Количество движенія. Мѣру постоянной силы можно представить въ другомъ видѣ. Пусть постоянная сила P дѣйствуетъ на матер. точку массы m и по истеченіи времени t сообщаетъ ей скорость v; тогда ускореніе будетъ $p = \frac{v}{t}$ и получимъ $P = \frac{mv}{t}$. Произведеніе mv назыв. количествомъ движенія, сообщаемымъ силою во время t; если $t = 1$, то $P = mv$, т. е. постоянная сила измѣряется количествомъ движенія, сообщеннымъ въ единицу времени.

Изъ равенства $P = \frac{mv}{t}$ видно, что для того, чтобы различнымъ точкамъ, находящимся въ покоѣ, въ одно и то же время t сообщить одну и ту же скорость v, нужны силы, пропорціональныя массамъ матеріальныхъ точекъ; отсюда и происходитъ понятіе о массѣ, какъ о количествѣ матеріальныхъ частицъ.

Примѣръ 1. Пусть m масса пушечнаго ядра и v скорость, съ какою оно пущено; пусть M масса пушки и V скорость ея отката послѣ выстрѣла. Во время дѣйствія пороховыхъ газовъ между ядромъ и дномъ пушки господствуетъ въ каждый моментъ одинаковое давленіе; поэтому количества движенія для обѣихъ массъ должны быть равны, такъ что $MV = mv$.

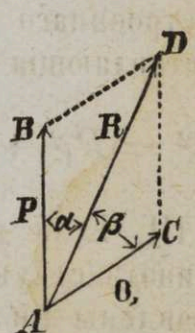
Если напримѣръ скорость ядра 500 метровъ и масса пушки въ 300 разъ болѣе массы ядра, то $MV = \frac{M}{300} . 500$; $V = 1{,}67$ метра. Съ этою скоростію орудіе откатывается назадъ.

Примѣръ 2. Паровозу вѣсомъ 30000 килогр. находящемуся въ покоѣ постоянная сила 1500 килогр. сообщаетъ скорость 12 метровъ въ секунду. Сколько потребно для этого времени?

$$t = mv : P = \frac{G}{g} . \frac{v}{P} = \frac{30000 . 12}{9{,}81 . 1500} = 24{,}5 \text{ секунды}.$$

41. О сложеніи и разложеніи силъ. Дѣйствіе двухъ или нѣсколькихъ постоянныхъ силъ на матеріальную точку можно замѣнить дѣйствіемъ одной, равнодѣйствующей. Пусть на матеріальную точку M дѣйствуютъ двѣ силы P и P_1; подъ дѣйствіемъ ихъ точка приметъ нѣкоторое движеніе. Чтобы удержать ее въ покоѣ, нужно къ ней приложить силу R, дѣйствующую въ обратную сторону съ возможнымъ движеніемъ; тогда эта сила R, равная и противоположная силамъ P и P_1 будетъ равнодѣйствующая силъ P и P_1. Замѣна нѣсколькихъ силъ одною равнодѣйствующею называется сложеніемъ силъ. Замѣна дѣйствія одной силы дѣйствіемъ нѣсколькихъ силъ называется разложеніемъ силъ.

Сложеніе и разложеніе силъ, дѣйствующихъ на точку, дѣлается совершенно такъ же, какъ сложеніе и разложеніе скоростей и ускореній, потому что величины силъ пропорціональны ускореніямъ; поэтому линіи, изображающія ускоренія, нужно только увеличить въ отношеніи 1: $\frac{G}{g}$, а формулы умножить на $\frac{G}{g}$, дабы обратить ихъ въ соотвѣтствующія фигуры и формулы для силъ.



Фиг. 94.

I. Параллелограммъ силъ. Если AB и AC изображаютъ силы P и P_1, дѣйствующія на точку A, по величинѣ и направленію, то ихъ равнодѣйствующая R изобразится по величинѣ и направленію діагональю AD параллелограмма, построеннаго на линіяхъ AB и AC; или если α и β углы между P и R и P_1 и R, то

$$P : R = \sin\beta : \sin(\alpha+\beta); \; P : P_1 = \sin\beta : \sin\alpha \quad . \quad . \quad (1)$$

$$R = \sqrt{P^2 + P_1^2 + 2PP_1\cos(\alpha+\beta)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Примѣчаніе. Косинусъ тупаго угла равенъ косинусу угла дополнительнаго съ обратнымъ знакомъ.

Для силъ взаимно перпендикулярныхъ, когда $(\alpha+\beta)=90^0$:

$$\left.\begin{aligned} P=R\sin\beta=R\cos\alpha;\ P_1=R\cos\beta=R\sin\alpha;\\ P:P_1=tang\,\beta:1=cotang\,\alpha:1 \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

$$R^2=P^2+P_1^2 \text{ и } R=\sqrt{P^2+P_1^2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

II. Многоугольникъ силъ. Если на точку дѣйствуютъ нѣсколько силъ, то ихъ равнодѣйствующая R выражается по величинѣ и направленію послѣднею или замыкающею стороною многоугольнаго контура, послѣдовательныя стороны котораго равны и параллельны линіямъ, представляющимъ по величинѣ и направленію данныя силы, дѣйствующія на матеріальную точку, —при чемъ начальная точка построенія многоугольника и порядокъ слѣдованія въ немъ силъ произвольны. Если составленный такимъ образомъ многоугольникъ замыкается самъ собою, такъ что замыкающая сторона равна нулю, тогда это покажетъ, что равнодѣйствующая всѣхъ силъ равна нулю и точка находится въ покоѣ.

Пусть P_1, P_2, P_3 силы, дѣйствующія на матеріальную точку; пусть $\alpha_1\alpha_2\alpha_3$—; $\beta_1\beta_2\beta_3$—$\gamma_1\gamma_2\gamma_3$—углы, образуемыя силами съ тремя прямоугольными осями координатъ. Проэкція равнодѣйствующей на какую либо ось равна суммѣ проэкцій силъ слагающихъ на ту же ось; пусть a,b,c углы равнодѣйствующей съ осями координатъ. Поэтому

$$\left.\begin{aligned} R_x=R\cos a=P_1\cos\alpha_1+P_2\cos\alpha_2+P_3\cos\alpha_3+=\Sigma P\cos\alpha\\ R_y=R\cos b=P_1\cos\beta_1+P_2\cos\beta_2+P_3\cos\beta_3+=\Sigma P\cos\beta\\ R_z=R\cos c=P_1\cos\gamma_1+P_2\cos\gamma_2+P_3\cos\gamma_3+=\Sigma P\cos\gamma \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Величина равнодѣйствующей силы будетъ:

$$R=\sqrt{(\Sigma P\cos\alpha)^2+(\Sigma P\cos\beta)^2+(\Sigma P\cos\gamma)^2} \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

а направленіе ея опредѣлится по формуламъ:

$$\cos a=\frac{\Sigma P\cos\alpha}{R};\ \cos b=\frac{\Sigma P\cos\beta}{R};\ \cos c=\frac{\Sigma P\cos\gamma}{R} \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Какъ частный случай теоремы многоугольника силъ надо замѣтить теорему параллелопипеда силъ. Если на точку дѣйствуютъ три силы, не находящіяся въ одной плоскости, тогда равнодѣйствующія ихъ представится по величинѣ и направленію діагональю параллелопипеда, построеннаго на линіяхъ, представляющихъ по величинѣ и направленію составляющія силы:

$$R^2=P_1^2+P_2^2+P_3^2;\ \cos a=\frac{R}{P_1};\ \cos q=\frac{R}{P_2};\ \cos c=\frac{R}{P_3}$$

III. Если двѣ силы дѣйствуютъ на тѣло по одному направленію, то равнодѣйствующая равна алгебраической суммѣ ихъ; смотря по тому направлены ли силы въ одну сторону или въ противуположныя, $\alpha+\beta=0^0$ или 180^0; если массу тѣла $\frac{G}{g}$ обозначимъ чрезъ M, то ускореніе получающееся отъ двухъ силъ будетъ

$$p=p_1\pm p_2=\frac{P_1\pm P_2}{M}$$

а равнодѣйствующая сила

$$R=Mp=P_1\pm P_2$$

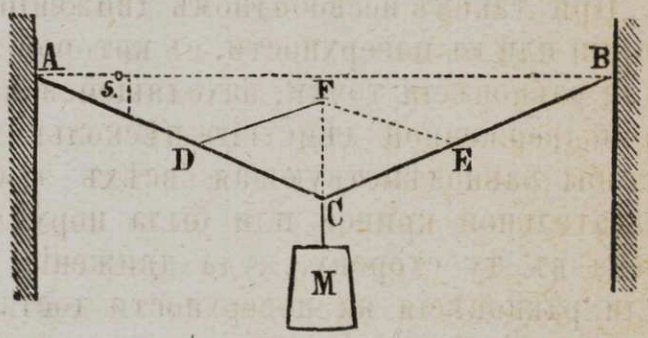
IV. Разложеніе силъ. Обыкновенно встрѣчается разложеніе силы на двѣ, которыя находятся въ одной плоскости, или на три, которыя могутъ и не находиться въ одной плоскости.

Пусть R сила, дѣйствующая на матер. точку M; пусть хотимъ разложить ее на двѣ силы по направленіямъ Mx и My; для этого строимъ параллелограммъ, коего стороны MF и MF' выразятъ силы, дѣйствіе коихъ замѣняетъ дѣйствіе одной данной силы R.

Иногда бываетъ дана одна изъ составляющихъ силъ по величинѣ и направленію; тогда направленіе и величина другой составляющей не могутъ быть произвольны; тогда нужно P соединить съ R и потомъ построить параллелограммъ.

Если силу MR нужно разложить на три силы по тремъ даннымъ направленіямъ Mx, My, Mz, тогда нужно построить параллелопипедъ, у котораго MR была бы діагональю, а Mx, My, Mz ребрами. Для этого надо вообразить чрезъ точку R три плоскости, параллельныя тремъ плоскостямъ xMy, yMz и zMx.

Примѣръ 1. Канатъ ACB укрѣпленъ въ двухъ точкахъ A и B находящихся на одинаковой высотѣ. Въ средней точкѣ C виситъ тяжесть M; какъ велико натяженіе двухъ половинъ AC и BC каната, если уголъ $CAB = 5^0$?

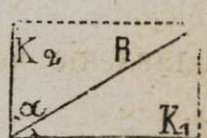


фиг. 95.

Изобразимъ силу M вертикальной линіей CF; она составляетъ съ CA уголъ въ 85^0. Построимъ параллелограммъ $CEFD$; тогда линія $CD = CE$ представитъ натяженіе двухъ частей каната. Изъ треугольника же CFD находимъ

$CD : CF = \sin CFD : \sin CDF$,—или $CD : CF = \sin 85^0 : \sin 10^0$, откуда $CD = M \sin 85^0 : \sin 10^0 = M.\ 0{,}9962 : 0{,}1726 = 5{,}738\ M$, т. е. натяженіе каната въ 5,738 разъ болѣе тяжести M.

Примѣръ 2. Судно движется въ рѣкѣ или каналѣ силою R, какъ велики составляющія силы: K_1 дѣйствующая по направленію движенія и K_2 приближающая судно къ берегу, если направленіе тянущей силы R съ направленіемъ канала образуетъ уголъ $\alpha = 20^0$?



фиг. 96.

Сила по направленію движенія $K_1 = R \cos 20^0 = 0{,}9397\ R$

Сила, перпендикулярная къ берегу $K_2 = R \cos 20^0 = 0{,}3420\ R$

т. е. первая составляетъ около 94, послѣдняя около 34 процента дѣйствующей силы.

Примѣръ 3. Козелъ состоитъ изъ 3 ногъ, соединенныхъ вверху и образующихъ между собою равные углы. Въ точкѣ соединенія подвѣшенъ грузъ M, такъ что каждая нога образуетъ съ вертикальною линіею груза уголъ 40^0. Опредѣлить давленіе на каждую ногу?

Грузъ разлагается на три равныя составляющія, изъ коихъ каждая равна $M \cos 40^0 = 0{,}643\ M$ (ибо $P_1 = P_2 = P_3 = R \cos (\alpha = \beta = \gamma)$). Поэтому давленіе на каждую ногу или опору составляетъ 64,3 процента отъ груза M.

42. Условія равновѣсія матеріальной точки. I. Если система силъ не производитъ измѣненія въ состояніи покоя или движенія точки, на которую она дѣйствуетъ, такъ что точка либо остается въ покоѣ (равновѣсіе статическое) либо движется равномѣрно и прямолинейно (равновѣсіе динамическое), тогда силы находятся въ равновѣсіи. Очевидно, что необходимое и достаточное условіе равновѣсія точки состоитъ въ

томъ, чтобъ равнодѣйствующая всѣхъ силъ на нее дѣйствующихъ, равнялась нулю. Отсюда

Для равновѣсія проэкціи равнодѣйствующей на три оси координатъ должны быть равны нулю или же сумма проэкціи на три оси координатъ всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на матеріальную точку, для равновѣсія должна быть равна нулю:

$$R_x = \Sigma P \cos\alpha = 0;\ R_y = \Sigma P \cos\beta = 0;\ R_z = \Sigma P \cos\gamma = 0. \quad (1)$$

II. Точка можетъ быть свободная или несвободная. Несвободная точка есть такая, которая непремѣнно должна двигаться по нѣкоторой линіи или на нѣкоторой поверхности. Для свободной же точки всѣ перемѣщенія возможны; измѣняя силы, можно заставить ее и двигаться по какому угодно направленію.

Примѣръ. Точка, которая помощію двухъ прутьевъ, соединена съ неподвижными точками, движется по круговой линіи, діаметръ коей перпендикуляренъ къ линіи, соединяющей неподвижныя точки. Точка, соединенная прутомъ съ неподвижною точкою, движется по шаровой поверхности, описываемой радіусомъ, равнымъ длинѣ прута. Въ обоихъ случаяхъ движеніе точки не свободно.

При такомъ несвободномъ движеніи всякое перемѣщеніе нормальное къ линіи или къ поверхности, съ которой точка связана, невозможно; поэтому для равновѣсія точки, находящейся на кривой линіи или на поверхности и подверженной дѣйствію нѣсколькихъ силъ, необходимо и достаточно, чтобы равнодѣйствующая всѣхъ этихъ силъ была перпендикулярна къ касательной кривой или была нормальна къ поверхности и была направлена въ ту сторону, куда движеніе не можетъ совершиться. Поэтому для равновѣсія на поверхности достаточно, если будутъ выполнены два, для равновѣсія на линіи одно изъ условій равновѣсія 1) другія формулы служатъ для опредѣленія давленія, которое поверхность или линія должны оказывать на точку, дабы она по нимъ двигалась. Поэтому если D обозначаетъ это давленіе и ось Z принимается нормальною къ поверхности, то для движенія на поверхности имѣемъ

$$R_x = \Sigma P \cos\alpha = 0;\ R_y = \Sigma P \cos\beta = 0$$

а давленіе между поверхностію и точкою

$$D = -R_z = -\Sigma P \cos\gamma \ldots\ldots\ldots (2)$$

B. Механика системы матеріальныхъ точекъ.

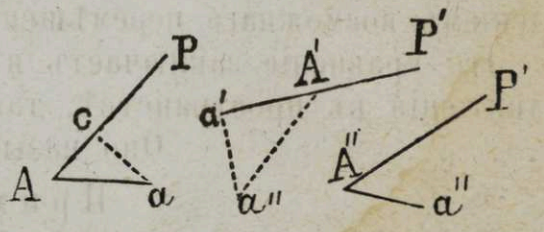
43. Система точекъ. Твердыя тѣла. Системою называется совокупность матеріальныхъ точекъ различныхъ массъ, находящихся между собою въ такой зависимости, что движеніе всѣхъ точекъ, кромѣ одной, обусловливаетъ движеніе этой послѣдней, такъ что если всѣ точки, кромѣ одной, перемѣстятся, то и эта послѣдняя также должна перемѣститься, если точки составляютъ систему. Связь между точками, образующими систему, можетъ происходить или отъ дѣйствія силъ, или отъ условій, связей, препятствій, которымъ система подчинена или наконецъ отъ совокупнаго дѣйствія силъ и препятствій. Неизмѣняемая система есть рядъ или совокупность точекъ, соединенныхъ между собою негибкими и нерастяжимыми линіями; эти линіи суть воображаемыя, геометрическія линіи, не имѣющія массы.

Въ механикѣ тѣла разсматриваются, какъ состоящія изъ матеріальныхъ точекъ; слѣдовательно частицы тѣла разсматриваются какъ матеріальныя точки; это составляетъ отвлеченіе, ибо частицы имѣютъ размѣры, а матеріальныя точки суть геометрическія, не имѣющія размѣровъ. Частицы тѣла находятся одна отъ другой на нѣкоторыхъ разстояніяхъ, которыя неизмѣнны для твердыхъ тѣлъ; такъ что твердое тѣло разсматривается какъ неизмѣняемая система, или какъ система точекъ, извѣстнымъ образомъ расположенныхъ и разстоянія между которыми не измѣняются. Собственно говоря это есть также отступленіе отъ дѣйствительности, ибо въ природѣ нѣтъ твердыхъ тѣлъ, которыя не измѣняли бы своей формы при дѣйствіи хотя бы и малыхъ внѣшнихъ силъ. Существуютъ тѣла которыя повидимому не измѣняются отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ, но это происходитъ отъ того, что измѣненіе незамѣтно и для нѣкоторыхъ тѣлъ чрезвычайно мало.

Разсмотритъ сначала условія равновѣсія (статику) произвольной системы матеріальныхъ точекъ, а потомъ движеніе (динамику) системы; въ этомъ разсмотрѣніи твердое тѣло будетъ заключаться какъ частный случай.

При изложеніи статики принимаются въ основаніе три различныя начала: I) начало или законъ рычага; II) начало параллелограмма силъ; III) начало возможныхъ перемѣщеній.

44. Начало возможныхъ перемѣщеній. Предположимъ, что система точекъ перешли въ смежное безконечно близкое положеніе. Разсмотримъ одну изъ точекъ, напр. A; эта матеріальная точка A свободна или несвободна, т. е. она или можетъ перемѣщаться по всѣмъ направленіямъ или можетъ перемѣщаться по однимъ и не можетъ по другимъ; положимъ, что она можетъ перемѣщаться по Aa, т. е. можетъ перейти изъ A въ сосѣднее, смежное положеніе a; тогда перемѣщеніе aA и называется возможнымъ; будучи разсматриваемо какъ безконечно малое, оно могло быть трактовано какъ прямолинейное. И такъ возможнымъ перемѣщеніемъ какой нибудь матеріальной точки, свободной или несвободной, называется безконечно малая прямая линія, соединяющая начальное положеніе точки съ смежнымъ безконечно близкимъ. Слово возможный указываетъ, что движеніе точки только возможное, но не имѣющее мѣста въ дѣйствительности и не разсматриваемое въ зависимости отъ силы, которая способна была бы произвести это движеніе; возможныхъ перемѣщеній можетъ существовать безчисленное множество, дѣйствительное же только одно.



фиг. 97.

Пусть къ матеріальнымъ точкамъ A', A, A''.... приложены силы P, P', P''.... и обозначимъ p, p', p''.... проэкціи возможныхъ перемѣщеній Aa, $A'a'$, $A''a''$,.... на направленіе этихъ силъ. Возможнымъ моментомъ силы P называется произведеніе абсолютной величины этой силы на проэкцію p возможнаго перемѣщенія Aa ея точки приложенія на направленіе силы. Слѣд. возможный моментъ Pp имѣетъ тотъ же знакъ, какъ и p, т. е. возможный моментъ считается положительный, когда проэкція возможнаго перемѣщенія совпадаетъ съ направленіемъ силы, и отрицательный, если проэкція упадетъ на продолженіе направ-

ленія силы. Если уголъ возможнаго перемѣщенія съ направленіемъ силы обозначимъ черезъ α, такъ что $PAa = \alpha$, то возможный моментъ по величинѣ и знаку будетъ $P \,.\, Aa \,.\, cos\alpha$. Возможное перемѣщеніе обыкновенно считается, какъ безконечно малое приращеніе дуги s и обозначается чрезъ δs, такъ что $Aa = \delta s$, причемъ s есть дуга, оканчивающаяся въ точкѣ A, δs не зависитъ отъ времени. И такъ возможный моментъ будетъ $P \,.\, \delta s \,.\, cos\alpha$, т. е. возможный моментъ есть произведеніе силы, возможнаго поремѣщенія и косинуса угла между ними. Онъ есть въ то же время безконечно малая механическая работа, развитая при перемѣщеніи точки.

Примѣчаніе. Для силы, перпендикулярной къ перемѣщенію, возможный моментъ равенъ нулю.

Если нѣсколько силъ дѣйствуютъ на матеріальную точку, тогда возможный моментъ равнодѣйствующей равенъ суммѣ возможныхъ моментовъ силъ слагающихъ. Отсюда слѣдуетъ:

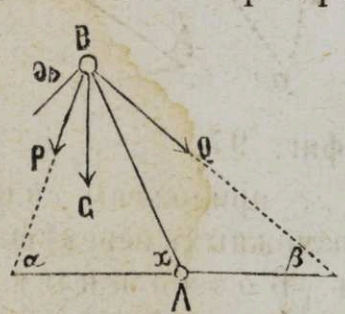
Если на матеріальную точку, свободную или несвободную, дѣйствуютъ нѣсколько силъ, тогда для равновѣсія точки необходимо и достаточно, чтобъ сумма возможныхъ моментовъ всѣхъ дѣйствующихъ силъ была равна нулю относительно каждаго изъ возможныхъ перемѣщеній точки, понимая подъ возможными перемѣщеніями точки тѣ, которые совмѣстны съ условіями задачи, коимъ подчинена точка.

Если имѣемъ систему матеріальныхъ точекъ и если на каждую точку системы дѣйствуетъ нѣкоторая сила, которая можетъ быть равнодѣйствующая нѣсколькихъ другихъ силъ, тогда для равновѣсія необходимо и достаточно, чтобъ сумма возможныхъ моментовъ всѣхъ дѣйствующихъ силъ была равна нулю относительно каждаго изъ возможныхъ перемѣщеній, совмѣстныхъ съ данными условіями задачи

$$P_1\delta s\, cos\,\alpha_1 + P_2\delta s\, cos\,\alpha_2 + P_3\delta s\, cos\,\alpha_3 + \ldots = O \text{ или короче}$$
$$\Sigma\, P\delta s\, cos\,\alpha = O$$

проэкціи эти приходится разсматривать какъ положительныя, или какъ отрицательныя, смотря по тому, направлены ли онѣ, выходя изъ точки A по направленію силы P или въ противоположную сторону, т. е. будетъ ли уголъ $PAa = \alpha$, образуемый направленіемъ силы съ направленіемъ возможнаго перемѣщенія острый или тупой.

Это уравненіе заключаетъ въ себѣ всѣ условія равновѣсія, какъ для движенія въ пространствѣ, такъ и на поверхности и на кривой линіи. Оно назыв. началомъ возможныхъ перемѣщеній.



фиг. 97.

Примѣры примѣненіи начала возможныхъ перемѣщеній:

1) Невѣсомый, вращающійся въ вертикальной плоскости прутъ AB (фиг. 97), нагруженъ въ верхнемъ концѣ грузомъ G и двумя силами P и Q, дѣйствующими въ той же самой вертик. плоскости и образующими съ горизонтомъ углы α и β; въ положеніи равновѣсія прутъ образуетъ съ горизонтомъ уголъ x, который и должно опредѣлить.

Возможное перемѣщеніе ds нагруженнаго конца, которое возможно только перпендикулярно къ направленію прута, даетъ возможные моменты.

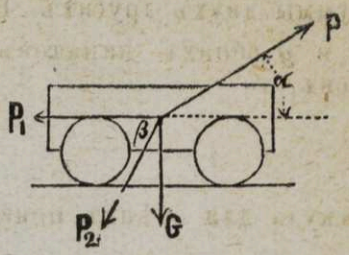
$$G\,ds\,cos\,x,\; P\,ds\,cos\,(x - (90 - \alpha)),\; Q\,ds\,cos\,(x + (90 - \beta)).$$

Поэтому условіе равновѣсія

$$G\,cos\,x + P\,sin\,(x + \alpha) + Q\,sin\,(\alpha + \beta) = 0.$$

Отсюда

$$tang\ x = \frac{G + Q\ sin\ \beta + P\ sin\ \alpha}{\partial\ cos\ \beta - P\ cos\ \alpha}$$



фиг. 98.

2) Вагонъ, фиг. 98, вѣсомъ $G = 2000$ киллогр. движется по горизонтальной дорогѣ силою P, которая съ горизонтомъ образуетъ уголъ $\alpha = 20^0$; онъ преодолѣваетъ горизонтальное сопротивленіе отъ тренія $P_1 = 100$ киллогр. и сопротивленіе отъ вѣтра $P_2 = 150$ киллогр., наклоненное къ горизонту подъ $\beta^0 = 35^0$. Какова должна быть необходимая для преодолѣнія этихъ сопротивленій сила P?

Возможные моменты суть
$P.\ ds.\ cos\ \alpha$; $P_1.\ ds$; $P_2.\ ds.\ cos\ \beta$ и условіе равновѣсія $P\ cos\ \alpha - P_1 - P_2\ cos\ \beta = 0$.

Откуда

$$P = \frac{P_1 + P_2\ cos\ \beta}{cos\ \alpha} = \frac{100 + 150.\ 0{,}82}{0{,}94} = 237{,}2 \text{ киллогр.}$$

Если спрашивается о работѣ, которую должна развить сила $P = 300$ киллогр., чтобы вагонъ изъ состоянія покоя привести въ движеніе со скоростію 2 метра въ секунду, то имѣемъ работу движущей силы P_0 равную $P_0 s$, если s обозначаетъ пройденный путь; далѣе работа силы P

$$Ps\ cos\ \alpha = 300.\ s.\ 0{,}94 = 282\ s.$$

Работа сопротивленія P_1:

$$P_1.\ s.\ cos\ 0^0 = -\ 100\ s;$$

и работа силы P_2:

$$-\ P_2\ s\ cos\ \beta = -\ 150.\ s.\ 0{,}82 = 123\ s.$$

Поэтому работа движущей силы:

$$P_0 s = (282 - 100 - 123)\ s = 59\ s. \text{ киллограмметра.}$$

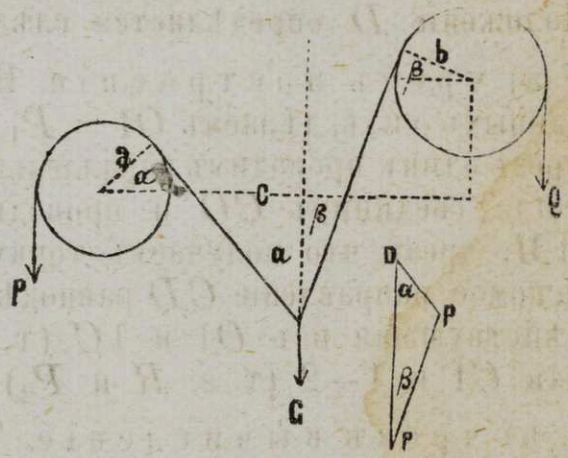
Масса $M = \frac{2000}{9{,}81} = 203{,}8$ киллограмма и требуетъ работу

$$P_0 s = \frac{v^2}{2} M = \frac{4}{2} .\ 203{,}8 = 407{,}6 \text{ киллограмметра,}$$

и если сравнимъ оба выраженія для $P_0 s$ одно съ другимъ, то получимъ

$$59\ s = 407{,}6; \text{ поэтому пространство } s = \frac{407{,}6}{59} = 6{,}9 \text{ метра.}$$

3) Вѣсъ G (фиг. 99) поддерживается двумя канатами, проходящими по блокамъ и натянутыми съ усиліями P и Q. Нужно опредѣлить положеніе равновѣсія G. Радіусы, проведенные къ мѣстамъ прикосновенія a и b канатовъ къ блокамъ, образуютъ съ горизонтомъ углы α и β. Тѣже самые углы образуютъ оба каната съ вертик. линіями. Если грузы перемѣстятся на малыя величины ds, ds_1 перпендикулярно къ направленіямъ канатовъ, то имѣемъ слѣдующіе возможные моменты.



фиг. 99.

Перемѣщеніе ds : $G\ ds\ cos\ (90 - \alpha)$;
0; $Q\ ds\ cos\ (90 - (\alpha + \beta))$;

Перемѣщеніе ds_1 : $G\ ds\ cos\ (90 - \beta)$;
$P\ ds\ cos\ (90 - (\alpha + \beta))$;

Поэтому имѣемъ два условія равновѣсія:

$$G\ sin\ \alpha = Q\ sin\ (\alpha + \beta);\ G\ sin\ \beta = P\ sin\ (\alpha + \beta).$$

Отсюда видно, что α и β суть углы треугольника, составленнаго изъ P, Q и G, которые противолежатъ сторонамъ Q и P и отсюда вытекаетъ общее правило: „Три силы, которыя взаимно уравновѣшиваются, могутъ быть представлены треугольникомъ, всего стороны параллѣльны ихъ направленію“. Въ то же время получается условіе, что изъ трехъ употребленныхъ грузовъ ни одинъ не можетъ быть болѣе

суммы двухъ другихъ. Найдя углы α и β, можно теперь легко опредѣлить длины x и y обоихъ канатовъ. Если c горизонтальное, h вертикальное разстояніе блоковъ, то

$$c = a\cos\alpha = x\sin\alpha + y\sin\beta + b\cos\beta$$
$$h = a\sin\alpha = x\cos\alpha + y\cos\beta - b\sin\beta$$

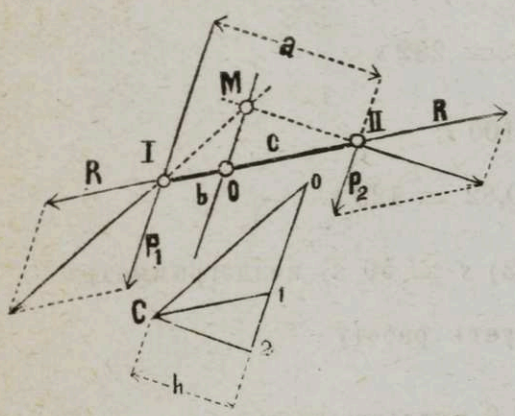
откуда для обѣихъ неизвѣстныхъ находимъ:

$$x = \frac{c\cos\beta - h\sin\beta - a\cos(\alpha+\beta) - b}{\sin(\alpha+\beta)}$$

$$y = \frac{c\cos\alpha + h\sin\alpha - a - b\cos(\alpha+\beta)}{\sin(\alpha+b)}$$

45. О силахъ параллельныхъ. Законъ рычага. На концахъ негибкой линіи I—II (фиг. 100) представимъ себѣ двѣ параллельныя силы P_1 и P_2, отвѣсное разстояніе между которыми пусть $= a$. Требуется замѣнить эти двѣ силы одною равнодѣйствующею.

Замѣтимъ сначала, что если сила дѣйствуетъ на твердое тѣло, то она можетъ быть переносима по направленію ея дѣйствія и можетъ быть приложена къ произвольной точкѣ взятой на ея направленіи.



фиг. 100.

Если по направленію I—II приложимъ двѣ равныя и противоположныя силы R,—R; то отъ этого состояніе тѣла не измѣнится; если сложимъ эти силы съ P_1 и P_2 въ двѣ равнодѣйствующія, то ихъ направленія пересѣкутся въ M, гдѣ мы можемъ снова представить ихъ себѣ разложенными на четыре силы R, P_1. P_2, R; тогда двѣ противоположныя силы R въ дѣйствительности уничтожаются и остается только сила $P_1 + P_2$, которая дѣйствуетъ по направленію MD параллельно P_1 и P_2 и замѣняетъ систему P_1, P_2. Положеніе D опредѣляется слѣдующимъ образомъ:

а) чрезъ построеніе. На прямой $O2$ параллельной направленію данныхъ силъ, дѣлаемъ $O1 = P_1$, $1-2$ P_2, такъ что $O2 = P_1 + P_2$; чрезъ одинъ проводимъ параллельную къ I—II и отложимъ на ней $1C = R$; тогда соединимъ CO и проводимъ параллельно къ нимъ прямыя IM, IIM, чрезъ что получаемъ точку M, чрезъ которую должно проходить искомое направленіе CD равнодѣйствующей, потому что OC есть равнодѣйствующая изъ $O1$ и $1C$ (т. е. P_1 и R), а $C2$ равнодѣйствующая изъ $C1$ и $1-2$ (т. е. R и P_2) по величинѣ и направленію.

b) чрезъ вычисленіе. Такъ какъ $\triangle IDM$ подобенъ $\triangle C1O$ и $\angle DMII$ подобенъ $\triangle 12C$, то

$$MD : b = O1 : C1 = P_1 : R; \quad MD : c = 12 : C1 = P_2 : R;$$

слѣдовательно $P_1 b = Q_1 c$; . . . . . (1)

т. е. точка D дѣлитъ I—II обратно пропорціонально силамъ; а такъ какъ въ подобныхъ треугольникахъ основанія относятся какъ высоты, то отвѣсныя разстоянія направленій двухъ данныхъ параллельныхъ силъ отъ направленія ихъ равнодѣйствующей относятся обратно пропорціонально

величинамъ этихъ силъ. Обозначимъ чрезъ b и c проэкціи b и c на перпендикуляръ къ направленію силъ, то (т. к. $b_1 + c_1 = a$)

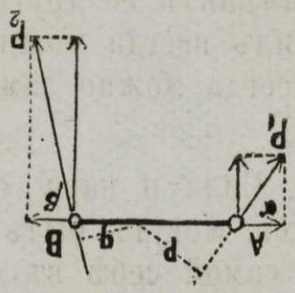
$$b_1 = \frac{P_2 a}{P_1 + P_2};\quad c_1 = \frac{P_1 a}{P_1 + P_2} \quad \ldots\ldots (2)$$

I. Сила, равная и противоположная равнодѣйствующей $P_1 + P_2$, будучи приложена въ точкѣ D, уничтожаетъ дѣйствіе P_1 и P_2 или удерживаетъ ихъ въ равновѣсіи.

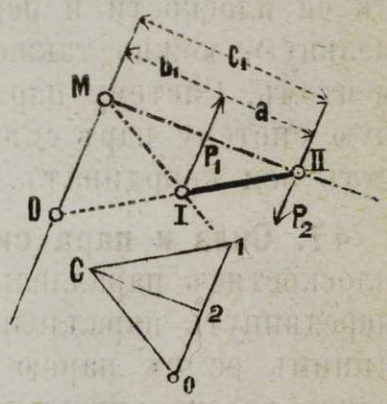
Неизмѣняемая линія, на концахъ которой дѣйствуютъ силы, называется математическимъ рычагомъ. Произведеніе силы на ея отвѣсное разстояніе отъ точки называется статическимъ моментомъ силы относительно этой точки.

Слѣдовательно рычагъ находится въ равновѣсіи, если статическіе моменты относительно точки опоры съ обѣихъ сторонъ равны. Давленіе на опору равно суммѣ дѣйствующихъ на рычагъ силъ.

II. Это положеніе справедливо и тогда, если силы P_1 и P_2 (фиг. 101) не параллельны, но образуютъ съ рычагомъ углы α и β. Разлагаемъ каждую силу на составляющія $P_1 \sin\alpha$, $P_2 \sin\beta$ перпендикулярно и $P_1 \cos\alpha$, $P_2 \cos\beta$ по направленію рычага, то послѣднія даютъ боковое давленіе на точку опоры, а первые статическіе моменты $bP_1 \sin\alpha = cP_2 \sin\beta$ или такъ какъ $b \sin\alpha = p$, $c \sin\beta = q$, то $P_1 p = P_2 q$.



фиг. 101.



фиг. 102.

III. Если составляющія, перпендикулярныя къ направленію рычага, или въ случаѣ фиг. 100 параллельныя силы P_1 и P_2 имѣютъ противоположныя направленія, тогда точка опоры получается на продолженіи I—II на сторонѣ (фиг. 102) большей изъ двухъ составляющихъ силъ. Если мы въ формулу (2) подставимъ $-P_2$ вмѣсто P_2, то получимъ:

$$b_1 = -\frac{P_2 a}{P_1 - P_2};\quad c_1 = \frac{P_1 a}{P_1 - P_2}.$$

Если теперь $P_1 > P_2$, то b_1 отрицательно и точка опоры будетъ на продолженіи II—I на сторонѣ P_1. Къ этому же приводитъ и построеніе на фиг. 102, сдѣланное по правилу, данному подъ буквою a) принимая въ соображеніе противоположныя направленія силъ P_1 и P_2.

Но изъ предъидущаго можно видѣть, что чѣмъ менѣе разность между обѣими противоположными параллельными силами, тѣмъ менѣе будетъ ихъ равнодѣйствующая $(P_1 - P_2)$ и тѣмъ далѣе удалено ея направленіе отъ направленій данныхъ силъ.

Примѣръ. Деревянная перекладина въ 20 футъ длиною, поддерживаемая на обѣихъ концахъ подпорками несетъ на себѣ грузъ въ 73 пуда, помѣщенный на разстояніи $4^1/_2$ футъ отъ одной изъ подпорокъ. Спрашивается, какое напряженіе будетъ выдерживать каждая подпорка?

Здѣсь $b_1 + c_1 = 20$ ф., $b_1 = 4\frac{1}{2}$ ф; $P_1 + P_2 = 73$. Поэтому $P_2 = \frac{P_1 + P_2}{b_1 + c_1} \cdot b_1 = \frac{73 \cdot 4{,}5}{20} = 16{,}425$ пуд. будутъ давить подпорку ближнюю и $P_1 = \frac{P_1 + P_2}{b_1 + c_1} \cdot c_1 = \frac{73 \cdot 15{,}5}{20} = 56{,}675$ пуд. на поддержку дальнюю.

46. Пара силъ. Если двѣ противоположныя параллельныя силы равны, то ихъ равнодѣйствующая равна нулю, а ея направленіе находится на безконечно большомъ разстояніи; такая система назыв. п а р о ю с и л ъ. Сила одиночная стремится сообщить прямолинейное поступательное движеніе по ея направленію, пара силъ стремится произвести вращательное движеніе около оси, перпендикулярной къ ея плоскости. Нормальное разстояніе между обѣими силами пары назыв. п л е ч о м ъ п а р ы; произведеніе одной силы пары на ея плечо ($= P \cdot a$) назыв. м о м е н т о м ъ п а р ы и это есть ни что иное какъ алгебрическая сумма статическихъ моментовъ обѣихъ силъ пары относительно произвольной оси, перпендикулярной къ ея плоскости.

Всякую пару силъ можно произвольно передвигать и поворачивать въ ея плоскости и переносить изъ ея плоскости въ другую ей параллельную, можно также замѣнять ее другою парою съ одинаковымъ моментомъ. Систему паръ силъ всегда можно замѣнить одною парою. Всякую систему паръ силъ всегда можно замѣнить тремя парами, оси коихъ суть оси координатъ.

47. Сила и пара силъ. Сила и пара силъ, которыя дѣйствуютъ въ плоскостяхъ параллельныхъ, могутъ быть слагаемы. Всякую силу можно передвинуть параллельно самой себѣ въ ея плоскости, если только соединимъ ее съ парою силъ, сила которой равна данной силѣ, а плечо равно разсматриваемому перемѣщенію. Сила и пара силъ въ плоскостяхъ не параллельныхъ не могутъ быть слагаемы въ одну равнодѣйствующую.

48. Общее приведеніе произвольной системы силъ. Сколько бы ни было силъ, приложенныхъ какимъ нибудь образомъ къ тѣлу, онѣ всегда могутъ быть приведены къ одной силѣ, равнодѣйствующей всѣхъ силъ, перенесенныхъ параллельно самимъ себѣ въ произвольную точку, и къ одной парѣ, которыя вообще будутъ находиться въ различныхъ плоскостяхъ.

49. Общія уравненія равновѣсія произвольной системы силъ. Для равновѣсія твердаго тѣла, или для равновѣсія произвольнаго числа силъ, приложенныхъ произвольнымъ образомъ къ твердому тѣлу, необходимо чтобы алгебрическая сумма проэкцій всѣхъ дѣйствующихъ силъ на какія нибудь оси координатъ была равна нулю относительно каждой изъ нихъ и чтобы алгебрическая сумма моментовъ всѣхъ дѣйствующихъ силъ относительно каждой изъ осей координатъ была равна нулю. Поэтому имѣемъ слѣдующія 6 уравненій равновѣсія:

$$\left.\begin{aligned} \Sigma P \cos\alpha &= 0 \\ \Sigma P \cos\beta &= 0 \\ \Sigma P \cos\gamma &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad \left.\begin{aligned} \Sigma P (y\cos\gamma - z\cos\beta) &= 0 \\ \Sigma P (z\cos\alpha - x\cos\gamma) &= 0 \\ \Sigma P (x\cos\beta - y\cos\alpha) &= 0 \end{aligned}\right\}$$

P дѣйствующія силы; α, β, γ и x углы съ осями координатъ.

50. О равновѣсіи параллельныхъ силъ. Если всѣ силы системы одна другой параллельны, то углы α, β, γ для всѣхъ силъ будутъ одинаковы и тогда получаются два условія равновѣсія:

$$\cos\alpha\,\Sigma P = 0;\quad \cos\beta\,\Sigma P = 0;\quad \cos\beta\,\Sigma P = 0 \text{ или } \Sigma P = 0$$

1) т. е. для равновѣсія сумма параллельныхъ силъ должна быть равна нулю или сумма силъ, дѣйствующихъ въ одну сторону должна быть равна суммѣ силъ, дѣйствующихъ въ сторону противоположную.

$$\Sigma Px = 0,\quad \Sigma Py = 0,\quad \Sigma Pz = 0.$$

2) т. е. для равновѣсія алгебрическая сумма моментовъ всѣхъ параллельныхъ силъ относительно каждой изъ плоскостей координата порознь должна быть равна нулю.

На основаніи параграфа о сложеніи силъ имѣемъ (если a, b, c углы равнодѣйствующій съ осями координатъ).

$$R = \Sigma P;\quad a = \alpha;\quad b = \beta;\quad c = \gamma$$

т. е. равнодѣйствующая силъ параллельныхъ равна по величинѣ алгебрической суммѣ ихъ, а направленіе равнодѣйствующей параллельно направленію всѣхъ дѣйствующихъ параллельныхъ силъ.

51. Если разстояніе равнодѣйствующей отъ трехъ плоскостей координатъ есть x_0, y_0, z_0, то по второму условію равновѣсія паралл. силъ:

$$\Sigma Px - Rx_0 = 0;\quad \Sigma Py - Ry_0 = 0;\quad \Sigma Pz - Rz_0 = 0;$$

т. е. моментъ равнодѣйствующей относительно каждой изъ плоскостей координатъ равенъ алгебрической суммѣ моментовъ всѣхъ дѣйствующихъ парал. силъ относительно каждой изъ тѣхъ же плоскостей. Откуда

$$x_0 = \frac{\Sigma Px}{\Sigma P};\quad y_0 = \frac{\Sigma Py}{\Sigma P};\quad z_0 = \frac{\Sigma Pz}{\Sigma P}$$

Слѣд. каково бы ни было направленіе дѣйствующихъ параллельныхъ силъ, если только точки приложенія ихъ не измѣняются, равнодѣйствующая этихъ силъ всегда проходитъ чрезъ одну и ту же точку такъ что если имѣемъ систему силъ параллельныхъ и если будемъ измѣнять направленіе силъ, но не измѣняя ни величину силъ, ни координаты точекъ ихъ приложенія, тогда равнодѣйствующая всегда будетъ проходить чрезъ одну и ту же точку; эта замѣчательная точка наз. центромъ данныхъ параллельныхъ силъ.

51. Центръ тяжести тѣла есть центръ параллельныхъ силъ, когда на тѣло дѣйствуютъ лишь силы тяжести; если тѣло не имѣетъ значительныхъ размѣровъ относительно земли, то силы тяжести, приложенныя къ различнымъ его точкамъ, могутъ быть разсматриваемы какъ параллельныя и пропорціональныя массамъ точекъ, на которыя онѣ дѣйствуютъ; эти силы суть вѣса точекъ и если обозначимъ ихъ чрезъ G', G'', G'''...., тогда: $G' = m'g$, $G'' = m''g$, $G''' = m'''g$..... гдѣ m', m'', m'''.... массы точекъ и g постоянное число. Координаты центра тяжести, какъ центра этихъ параллельныхъ силъ:

$$x_0 = \frac{\Sigma Gx}{\Sigma G} = \frac{\Sigma mx}{\Sigma m};\quad y_0 = \frac{\Sigma Gy}{\Sigma G} = \frac{\Sigma my}{\Sigma m};\quad z_0 = \frac{\Sigma Gz}{\Sigma G} = \frac{\Sigma mz}{\Sigma m}$$

Моментомъ вѣса относительно какой нибудь плоскости наз. произведеніе вѣса точки на разстояніе ея отъ плоскости. Сумма моментовъ вѣсовъ

всѣхъ точекъ составляющихъ тѣло, относительно какой нибудь плоскости, равенъ моменту вѣса всего тѣла разсматривая его, какъ сосредоточенный, въ центрѣ тяжести. Сумма моментовъ вѣсовъ всѣхъ точекъ относительно какой нибудь совершенно произвольной плоскости, но проходящей чрезъ центръ тяжести тѣла, всегда равна нулю и наоборотъ.

При опредѣленіи центра тяжести тѣлъ должно предполагать, что онѣ вполнѣ однородны, т. е. что всѣ частицы одинаковой величины имѣютъ одинаковый вѣсъ; тогда можно вмѣсто вѣса G частичекъ брать ихъ объемъ. Геометрическія фигуры разсматриваются какъ тонкія пластинки, геометрическія линіи, какъ тонкія проволоки вполнѣ одинаковой толщины и изъ однороднаго матеріала.

Для опредѣленія центра тяжести употребляются слѣдующіе способы:

1) Способъ подвѣшиванія. Если тѣло свободно виситъ на ниткѣ, укрѣпленной въ какой нибудь его точкѣ, то центръ тяжести лежитъ на вертикальной линіи, проведенной чрезъ точку привѣса. Если тѣло подвѣсимъ поочередно за различныя точки, то каждому положенію соотвѣтствуетъ линія, которая содержитъ центръ тяжести. Пересѣченіе этихъ линій есть искомая точка.

2) Способъ выбалансировки. Кладутъ тѣло на острое горизонтальное ребро, напр. на острое лезвіе ножа, такъ чтобы оно оставалось въ равновѣсіи; тогда центръ тяжести лежитъ въ вертикальной плоскости, которая можетъ быть проведена чрезъ это ребро. Если дадимъ тѣлу по крайней мѣрѣ три положенія на ребрѣ, то получимъ столько же плоскостей, содержащихъ центръ тяжести. Пересѣченіе этихъ плоскостей есть искомая точка.

3) Способъ линій тяжести. Всякая прямая линія, которая проходитъ чрезъ центръ тяжести, назыв. линіею тяжести. Если даны двѣ или нѣсколько такихъ линій, то центръ тяжести находится на пересѣченіи ихъ.

4) Способъ силъ параллельныхъ. Разбиваютъ тѣло на части, центръ тяжести коихъ можно опредѣлить непосредственно. Вѣсъ этихъ частей пусть A, B, C; ихъ центръ тяжесть a, b, c. Проводятъ прямую отъ a къ b; центръ тяжести вѣсовъ A, B лежитъ на этой прямой такъ, что части ad и bd относятся, какъ вѣса B и A. Потомъ проводятъ прямую отъ d къ c; центръ тяжести s вѣсовъ $A + B$ и C лежитъ на этой прямой такъ, что разстояніе sd и sc относятся, какъ C къ $A + B$. Слѣд. s есть центръ тяжести всѣхъ частей, слѣд. всего тѣла.

Центръ тяжести плоскостей опредѣляется точно также, только вмѣсто вѣсовъ входятъ площади ихъ, напр. для нахожденія разстоянія центра тяжести плоской фигуры отъ двухъ прямоугольныхъ осей Ox, Oy, вообразимъ эту фигуру раздѣленною на такія части, центръ тяжести коихъ могъ быть легко опредѣленъ. Пусть s центръ тяжести всей фигуры; a, b, c центры тяжести частей; A, B, C площади частей фигуры; aa', bb' cc', Ss' разстоянія центровъ тяжести отъ оси Ox, то

$$Ss' = \frac{A \cdot aa' + B \cdot bb' + C \cdot cc'}{A + B + C}; \quad Os' = \frac{A \cdot Oa' + B \cdot Ob' + C \cdot Oc'}{A + B + C}$$

Слѣд. разстояніе центра тяжести фигуры отъ какой либо оси получится

если площади отдѣльныхъ частей умножимъ, на соотвѣтствующія разстоянія ихъ центровъ тяжести отъ этой оси, результаты сложимъ вмѣстѣ и раздѣлимъ на всю площадь.

5) Способъ статическихъ моментовъ. Чтобъ найти разстояніе центра тяжести тѣла отъ плоскости, нужно найти объемъ отдѣльныхъ частей тѣла или, при неоднородности состава, вѣсъ этихъ частей умножить на разстоянія центра тяжести отдѣльныхъ частей отъ этой плоскости, результаты сложить и раздѣлить на весь объемъ или вѣсъ тѣла.

6) Правило Гульдена. Пусть x разстояніе центра тяжести линіи или площади отъ оси вращенія. Если линія длиною L или поверхность площади L совершитъ полный оборотъ, то поверхность или линія опишетъ объемъ V. Поэтому $2\pi xL = V$, откуда можно вычислить x, если даны L и V.

52. Центръ тяжести важнѣйшихъ линій и площадей.

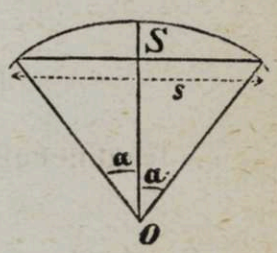
1. Центръ тяжести прямой линіи находится на ея срединѣ.

2. Центръ тяжести дуги круга (фиг. 103). Если s' есть центръ тяжести, то имѣемъ пропорцію

$$\frac{cs}{\text{радіусъ}} = \frac{\text{хорда}}{\text{дуга}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

откуда слѣдуетъ, если уголъ при центрѣ $=2\alpha$

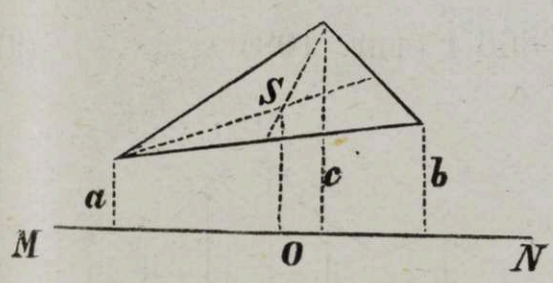
$$y = cs = \frac{r \sin \alpha}{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$



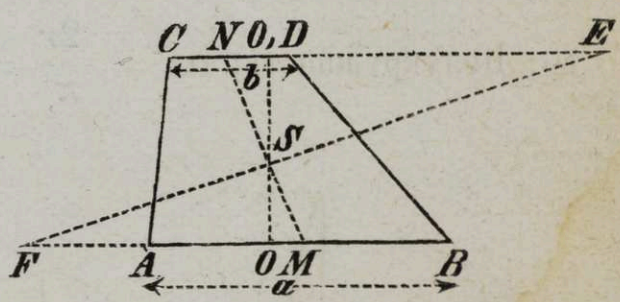
фиг. 103.

3. Въ параллелограммѣ діагонали пересѣкаются въ центрѣ тяжести.

4. Центръ тяжести площади треугольника (разсматриваемаго какъ половина параллелограмма) находится на линіи, соединяющей каждый изъ угловъ со срединою противолежащей стороны (фиг. 104); въ то же время онъ



фиг. 104.



фиг. 105.

находится на $^1/_3$ высоты треугольника надъ основаніемъ. Пусть a, b, c разстоянія угловъ треугольника отъ плоскости, тогда разстояніе его центра тяжести отъ этой плоскости

$$os = y = \frac{a + b + c}{3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

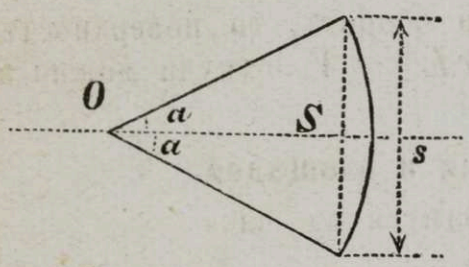
5. Центръ тяжести трапеціи $ABCD$ (фиг. 105) получится, если соединимъ средины параллельныхъ сторонъ; потомъ каждую изъ параллельныхъ сторонъ продолжимъ на величину другой въ противоположныхъ направленіяхъ и концы этихъ продолженій соединимъ; гдѣ эта соединительная

пересѣчетъ среднюю линію, тамъ находится центръ тяжести фигуры. Если h разстояніе между параллельными сторонами, то высота у центра тяжести надъ основаніемъ найдется по формулѣ

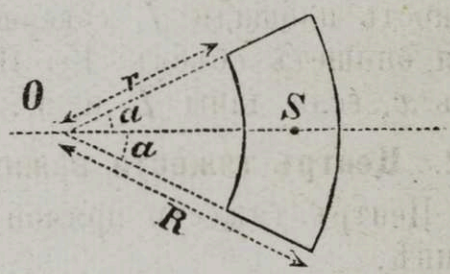
$$os = y = \frac{AB + 2CD}{AB + CD} \frac{h}{3} = \frac{h}{3} \frac{a + 2b}{a + b} \quad \ldots\ldots (4)$$

6. Круговой вырѣзокъ (фиг. 106); ось раздѣляетъ центральный уголъ пополамъ; половина этого угла пусть $= \alpha$; то

$$os = \frac{2}{3} r \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$



фиг. 106.



фиг. 107.

7. Кольцевой вырѣзокъ; если R и r радіусы, то (фиг. 107)

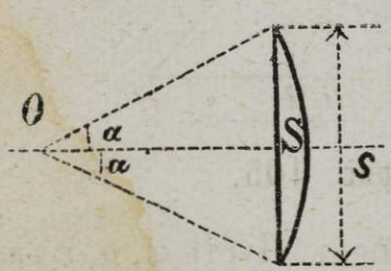
$$os = \frac{2}{3} \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

8. Круговой отрѣзокъ (сегментъ круга); разстояніе центра тяжести отъ центра круга (фиг. 108)

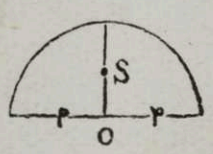
$$os = \frac{(\text{хордѣ})^3}{12 \text{ площадей}} = \frac{s^3}{12F} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

9. Полукругъ; $os = {}^4/_3 \frac{r}{\pi} = 0{,}4244\, r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$

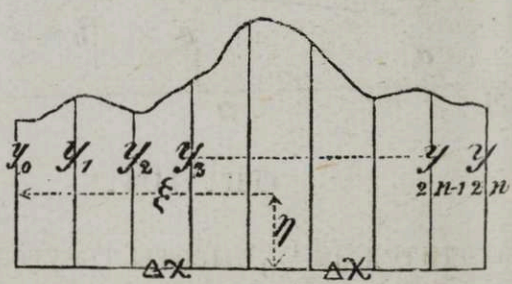
10. Полукружность; $os = \frac{2r}{\pi} = 0{,}6366\, r$ (фиг. 109) . . . . (9)



фиг. 108.



фиг. 109.



фиг. 110.

11. Произвольной площади неправильной формы (фиг. 110). Центръ тяжести опредѣляется приблизительно по формуламъ:

$$\xi = \Delta x. \frac{1.4y_1 + 2.2y_2 + 3.4y_3 + 4.2y_4 + \ldots + (2n-2)2y_{2n-2} + (2n1)4y_{2n-1} + 2ny_{2n}}{y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \ldots + y_{2n}}$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} y_0^2 + 4y_1^2 + 2y_2^2 + 4y_3^2 + \ldots + 4y_{2n}}{y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \ldots + y_{2n}}$$

53. Центръ тяжести тѣлъ. 1. Призма и цилиндръ. Центръ тяжести лежитъ на срединѣ линіи, соединяющей центры тяжестей оконечныхъ плоскостей.

2. Пирамида и конусъ. S лежитъ на оси центра тяжести въ разстояніи $\frac{h}{4}$ отъ плоскости основанія.

3. Усѣченная пирамида. Если A и B конечныя плоскости, то разстояніе отъ плоскости A:

$$\xi = \frac{h}{4} \cdot \frac{A + 2\sqrt{AB} + 3B}{A + \sqrt{AB} + B}.$$

4. Усѣченный конусъ. Если R и r будутъ радіусы конечныхъ плоскостей, то разстояніе отъ первой:

$$\xi = \frac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2} \cdot \frac{h}{2}.$$

5. Обелискъ, чер. 30 на стр. 88. Разстояніе отъ плоскости основанія:

$$\xi = \frac{ab + ab_1 + a_1b + 3a_1b_1}{2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1} \cdot \frac{h}{2}.$$

6. Шаровой вырѣзокъ:

$OS = \xi = {}^3/_8 r\,(1 + \cos\alpha) = \frac{3}{4}\left(r - \frac{h}{2}\right)$, когда h означаетъ высоту чашки.

Для полушара:

$$\xi = {}^3/_8 r.$$

Для половины пустаго шара:

$$\xi = {}^3/_8 \frac{R^4 - r^4}{R^3 - r^3}.$$

7. Для отрѣзка шара:

$$\xi = {}^3/_4 \frac{(2r - h)^2}{3r - h},$$

гдѣ h есть высота отрѣзка.

54. О механической работѣ. I. Если сила, приложенная къ точкѣ или тѣлу, сообщаетъ ему движеніе, то говорятъ, что она находится въ дѣйствіи, что сила дѣйствуетъ—работаетъ. Для измѣренія дѣйствія силъ надо знать не только числовую величину ихъ напряженія, но и пространство или путь, проходимый точкою приложенія силы. Это будетъ вполнѣ вѣрно во всѣхъ случаяхъ, будетъ ли сила постоянна или переменна, а полученное движеніе прямолинейное или криволинейное. Изъ двухъ силъ равнаго напряженія та будетъ производить большее дѣйствіе, которая при одинаковой продолжительности времени движенія проходитъ большій путь.

Поэтому дѣйствіе силы должно измѣряться одновременно ея напря-

женіемъ и путемъ, и отсюда мы заимствуемъ понятіе о механической работѣ.

Механическою работою называется произведеніе двухъ множителей — силы, выраженной вѣсомъ и пространства, пройденнаго точкою приложенія по направленію силы.

Если сила P проходитъ путь s, то произведенная ею механическая работа есть $A = Ps$.

II. Единица работы. Чтобъ можно было сравнить механическія работы силъ между собою, употребляется особая мѣра — единица работы. За единицу работы принимается та механическая работа, которая будетъ развита, чтобъ единицу вѣса (1 пудъ, 1 фунтъ, 1 киллогр.) поднять въ теченіи одной секунды на единицу длины (футъ, метръ); она называется киллограмметръ, пудо-фунтъ, фунто-футъ.

Напр. если сила $P = 40$ кило и пройденный ею путь $s = 10$ метр., то была развита механическая работа $A = Ps = 40.10 = 400$ киллограмметровъ.

Если должно механич. работу A силы P сравнить съ механ. работою A_1 силы P_1, то обѣ должны быть приведены къ одинаковому времени. Если при этомъ были пройдены пути s и s_1, то

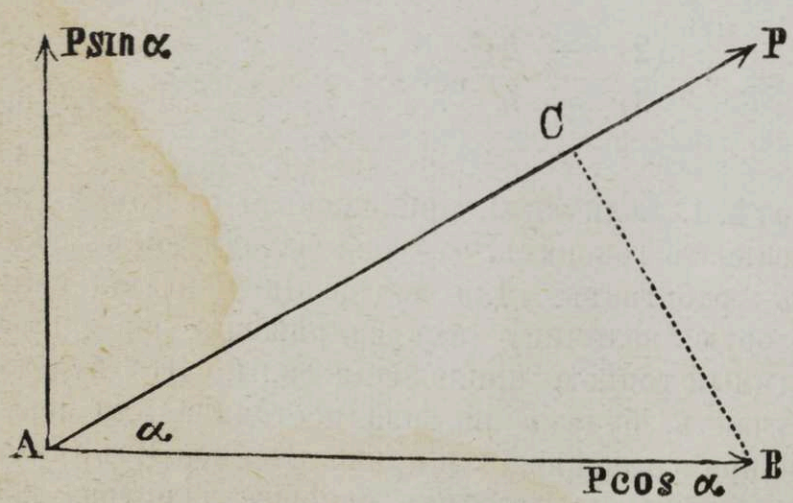
$$A = Ps;\ A_1 = P_1 s_1 \text{ поэтому } A : A_1 = Ps : P_1 s_1$$

Для случая, когда $A = A_1$ должно быть $Ps = P_1 s_1$ т. е. $P : P = s_1 : s$.

Поэтому двѣ силы различнаго напряженія могли бы развивать одинаковую механическую работу, если только ихъ напряженія обратно пропорціональны пройденнымъ путямъ. Поэтому будетъ развита одна и таже работа — проходитъ ли сила = 1 киллогр. путь = 100 метрамъ или же сила = 100 киллогр. дѣйствуетъ въ то же самое время на длинѣ = 1 метру.

III. Работа постоянной силы. Если сила дѣйствуетъ съ постояннымъ напряженіемъ P на точку A (точка приложенія силы) и двигаетъ ее по прямому направленію, которое въ каждый моментъ движенія совпадаетъ съ направленіемъ силы или ей противоположно, на пространствѣ s, то по § 1 произведенная ею работа

$$A = Ps \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$



фиг. 111.

Но если сила дѣйствуетъ съ постояннымъ напряженіемъ P, а движеніе ея точки приложенія A вслѣдствіе дѣйствія внѣшней причины, напр. направляющихъ, рельсовъ и т. п., происходитъ по направленію AB (фиг. 111), которое съ направленіемъ силы AC образуетъ уголъ α, на длинѣ пути s, то можно вмѣсто силы P вообразить дѣйствующія въ A ея составляющія $P \cos \alpha$ и $P \sin \alpha$, первую по направленію AB,

вторую нормально къ ней. Если теперь постоянная сила P ея направленіе во время движенія не измѣняетъ, то и ея составляющія дѣйствуютъ на точку A также съ постояннымъ напряженіемъ. Ясно, что составляющая $P \sin \alpha$ не развиваетъ работы, слѣд. движеніе можетъ послѣдовать только отъ составляющей $P \cos \alpha$. Развитая механическая работа поэтому будетъ выражаться въ этомъ случаѣ чрезъ

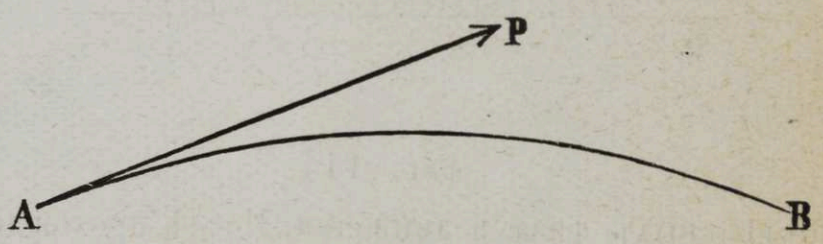
$$A = Ps \cos \alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Если теперь на фигурѣ AB изображаетъ путь s, то изъ треугольника ACB будетъ $AC = AB \cos \alpha = s \cos \alpha$ равно проэкціи части AB на прямую AC, которая представляетъ направленіе силы P. Обозначимъ AC чрезъ p, то

$$A = Pp \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

т. е. механическая работа силы выражается произведеніемъ изъ напряженія на проэкцію пути, пройденнаго ея точкою приложенія, на направленіе силы.

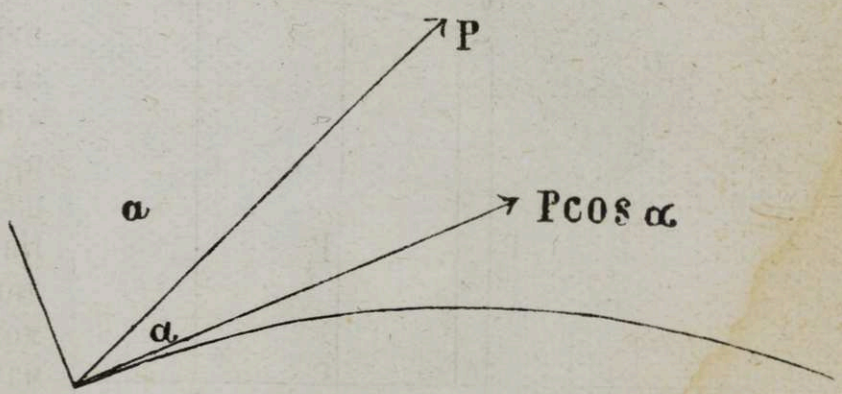
IV. Если постоянная сила P дѣйствуетъ (фиг. 112) на точку A, которая, вслѣдствіе направляющей, вынуждена двигаться по кривому пути AB абсолютной длины s, и если въ каждое мгновеніе дѣйствія силы ея направленіе совпадаетъ съ касательною къ кривой въ соотвѣтствующей точкѣ, то работа силы будетъ столь же велика, какъ если бы точка двигалась по прямой длиною s; поэтому работа этой силы будетъ опять выражаться уравненіемъ:



фиг. 112.

$$A = P.\ s.$$

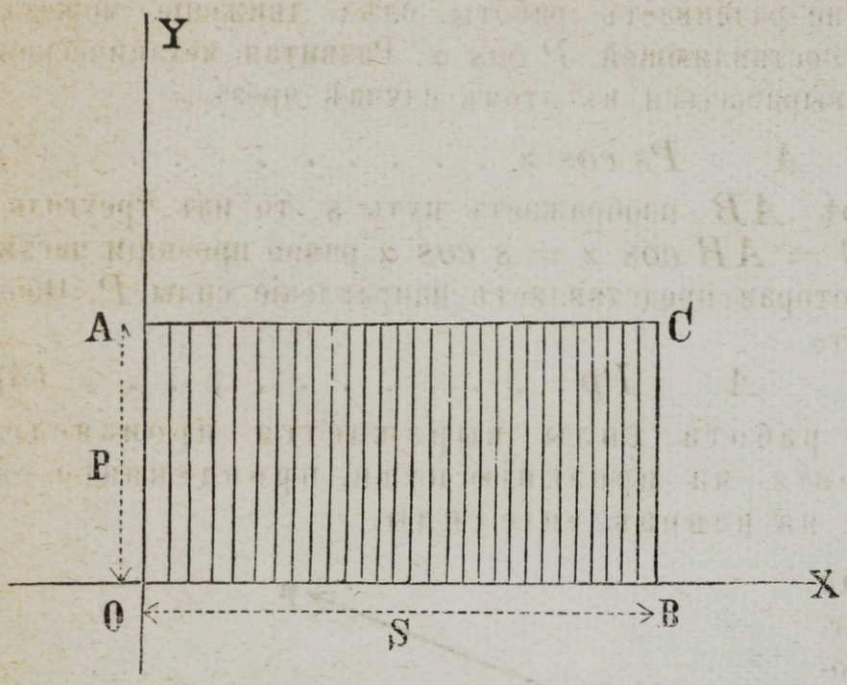
Если бы напротивъ постоянная сила, приложенная къ точкѣ, направляемой по криволинейному пути, была направлена такъ, что она въ каждый моментъ движенія образуетъ постоянный уголъ α съ направленіемъ пути, т. е. съ касательною къ нему, (фиг. 113) то подобно сказанному въ § 3 развиваемая механическая работа будетъ (4) . . . $A = P.\ s.\ \cos \alpha$, тогда какъ другая составляющая $P \sin \alpha$, нормальная къ каждому отдѣльному элементу кривой, натурально не можетъ развить никакой работы.



фиг. 113.

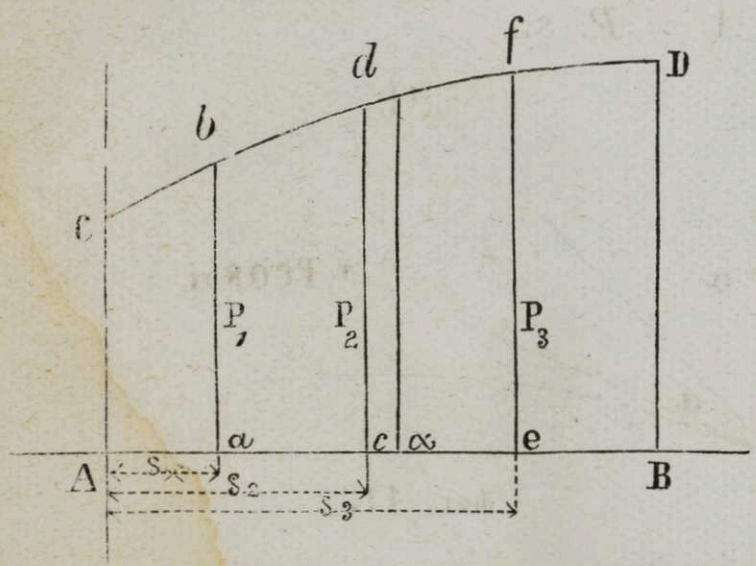
V. Послѣ вышесказаннаго механическая работа постоянной силы всегда выражается произведеніемъ $A = Ps$. Это произведеніе можно легко представить графически. Для этого откладываютъ отъ O, какъ начала прямоугольной системы осей, въ произвольномъ масштабѣ $OA = P$ на

OY и $OB = s$ на Ox; тогда площадь прямоугольника $AOCB$ по ея величинѣ $AO.OB = P.s = A$ представитъ, слѣдовательно, механическую работу $A = Ps$ графически (фиг. 114).



фиг. 114.

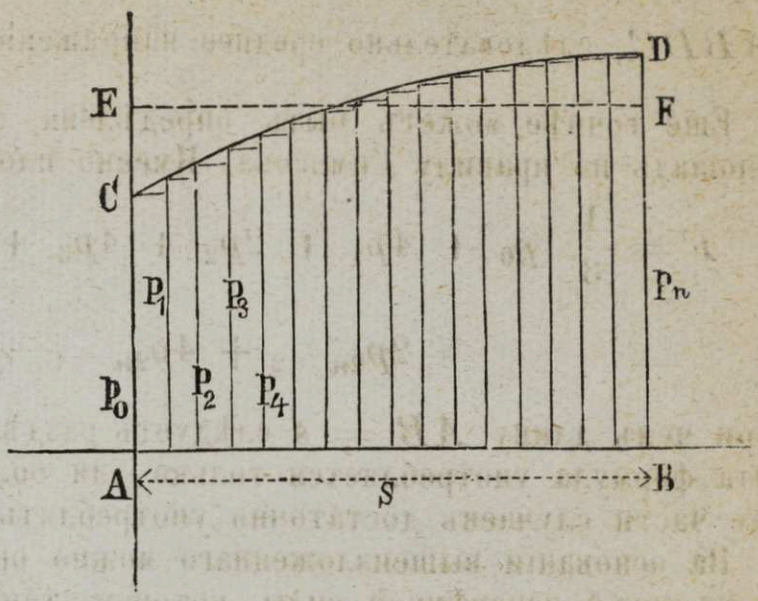
VI. Работа перемѣнной силы. Пусть дана сила перемѣннаго напряженія, двигающая точку въ продолженіе опредѣленнаго времени на длинѣ пути s. Направленіе движенія прямолинейно и въ каждый моментъ совпадаетъ съ направленіемъ силы. Должно опредѣлить развиваемую при этомъ механическую работу. Откладываемъ на Ax (фиг. 115) $AB = s$ и прослѣдимъ силу въ отдѣльныхъ фазахъ движенія. Послѣ прохожденія пути $s_1 = Aa$ сила пусть имѣетъ опредѣленное напряженіе p_1, которое пусть будетъ изображаться перпендикуляромъ ab къ AB на концѣ отрѣзка пути s_1. Послѣ прохода пути $s_2 = Ac$ пусть напряженіе $p_2 = cd$, послѣ $s_3 = Ae$ оно $p_3 = ef$ и т. д. Наконецъ въ концѣ пути $s = AB$ сила получаетъ напряженіе, изображаемое чрезъ BD. Соединимъ концевыя точки отдѣльныхъ линій силы, точки b, d, f — D одна съ другою непрерывною линіею, тогда получимъ кривую CD, которая представитъ намъ измѣненіе данной силы относительно проходимаго ею пути и называется линіею силы. На протяженіи очень малой части пути $c\alpha$ сила можетъ быть предполагаема постоянною тѣмъ скорѣе, чѣмъ менѣе будетъ принятъ путь. Механическая работа, соотвѣтствующая пути $c\alpha$ будетъ выражаться произведеніемъ $p_2 . c\alpha$ или прямоугольникомъ съ основаніемъ $c\alpha$ и высотою $p_2 = c\,d$,



фиг. 115.

Раздѣлимъ теперь (фиг. 116) $AB = s$ на очень малыя части и при точкахъ дѣленія возстановимъ перпендикуляры до кривой линіи силы, тогда получимъ рядъ площадей прямоугольниковъ, при чемъ каждый представляетъ опредѣленную механическую работу.

Сумма всѣхъ площадей прямоугольниковъ предуставляетъ всю развиваемую силою P работу на длинѣ пути s тѣмъ точнѣе, чѣмъ на большее число частей раздѣлена AB. Поэтому механическая работа перемѣнной силы можетъ быть представлена графически площадью, ограничиваемою кривою линіею силы CD, длиною пути AB и перпендикулярами AC и BD и изъ нея можетъ быть опредѣлена.



фиг. 116.

VII. Среднее напряженіе перемѣнной силы. Чтобы вычислить величину площади, примемъ, что путь $s = AB$ раздѣленъ на n равныхъ частей, изъ коихъ каждая имѣетъ длину $\frac{s}{n}$. Поэтому площадь $ABCD = F$ получится изъ

$$F = \frac{s}{n}(p_0 + p_1 + p_2 + \ldots + p_n) \ldots\ldots\ldots (5)$$

и поэтому механическая работа перемѣнной силы, изображаемой кривою AB (вслѣдствіе $F = A$)

$$A = \frac{1}{n}(p_0 + p_1 + p_2 + \ldots + p_n)\, s \ldots\ldots (6).$$

Пусть выраженіе

$$\frac{1}{n}(p_0 + p_1 + p_2 + \ldots + p_n) = P_m \ldots\ldots (7)$$

тогда будетъ работа $A = P_m s$; слѣдовательно получаемъ туже самую форму, какъ для работы постоянной силы.

Но теперь $\frac{1}{n}(p_0 + p_1 + p_2 + \ldots + p_n) = P_m$ есть ариѳметическое среднее изъ напряженій $p_0, p_1, p_2 \ldots p_n$ и поэтому постоянно. Отсюда слѣдуетъ, что постоянная сила P_m данной величины на томъ же самомъ пространствѣ развиваетъ такую же работу, какъ и перемѣнная сила P. Вслѣдствіе этого сила P_m называется среднимъ напряженіемъ перемѣнной силы; ея величину можно опредѣлить по уравненію (7) легко и тѣмъ точнѣе, чѣмъ болѣе примемъ n. И такъ среднимъ напряженіемъ перемѣнной силы называется та постоянная сила P_m, которая на пространствѣ $AB = s$ производитъ такую же работу какъ и перемѣнная сила. Въ фигурѣ 116 сдѣлаемъ $AE = P_m$, тогда долженъ быть прямоугольникъ $ABFE =$ площади

$ABDC$, слѣдовательно среднее напряженіе $AE = \frac{\text{площади } ABDC}{\text{пространство } AB}$.

Еще точнѣе можетъ быть опредѣлена ограниченная кривою линіею площадь по правилу Симпсона. Именно площадь $ACDB =$

$$F = \frac{1}{3}(p_0 + 4p_1 + 2p_2 + 4p_3 + 2p_4 + 4p_5 + 2p_6 + \\ + 2p_{2n-2} + 4p_{2n-1} + p_{2n})\frac{s}{2n} \quad \ldots\ldots (8)$$

при чемъ длину $AB = s$ слѣдуетъ раздѣлять на $2n$ равныхъ частей. Эта формула употребляется только для бо́льшей точности, въ большей же части случаевъ достаточно употреблять формулы 5, 6 и 7.

На основаніи вышеизложеннаго можно опредѣлить механическую работу такой перемѣнной силы, которой точка приложенія двигается по опредѣленному пути и въ каждый моментъ совпадаетъ съ касательною къ нему или образуетъ съ нею опредѣленный уголъ (см. 3 и 4).

VIII. Работа силы въ секунду. Если должно сравнить механическую работу двухъ или нѣсколькихъ силъ одну съ другою, то необходимо взять въ соображеніе время, употребленное для ея развитія. Потому что изъ двухъ силъ, развивающихъ одну и ту же механическую работу, очевидно та работала болѣе, которая употребила для этого меньшее время. Слѣдовательно, если постоянная сила P обладаетъ скоростію v, то ея работа выражается произведеніемъ силы на скорость (путь въ секунду).

$$E = P \cdot v. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

Если точка приложенія силы должна проходить путь s въ теченіи времени t, то

$$v = \frac{s}{t} \text{ и } E = P\frac{s}{t}.$$

А такъ какъ $Ps = A$, то

$$E = \frac{A}{t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

Если сила P перемѣннаго напряженія, то ея работа въ t секундъ по § 6

$$A = P_m \cdot s$$

при чемъ P_m обозначаетъ среднее напряженіе перемѣнной силы P. А поэтому работа перемѣнной силы

$$E = P_m\frac{s}{t} = \frac{A}{t}$$

Но $\frac{s}{t}$ есть средняя скорость, т. е. тотъ путь, который должна бы проходить точка приложенія силы при равномѣрномъ движеніи въ каждую секунду, дабы въ t секундъ пройти путь s; поэтому если обозначимъ ее черезъ v_m:

$$v_m = \frac{s}{t} \text{ и } E = P_m v_m.$$

IX. Работа въ лошадиныхъ силахъ. Если слѣдуетъ измѣрять очень большія механическія работы, то онѣ, если выражены въ килограмметрахъ, по ихъ числовой величинѣ еще слишкомъ велики для того, чтобъ можно бы получить ясное представленіе о значеніи столь большихъ чиселъ; это неудобно и для употребленія въ практической жизни. На этомъ основаніи условились въ такихъ случаяхъ измѣрять работы большею единицею такъ называемою „лошадиною силою“. Лошадиною силою называется работа 75 килограмметровъ въ секунду. Названіе лошадиная сила дано потому, что означенныя числа по Уатту почти представляютъ среднюю работу самой сильной ломовой лошади при 8 до 10 часовомъ рабочемъ времени въ сутки). Если E обозначаетъ работу машины, выраженную въ килограмметрахъ, то соотвѣтствующее число N лошадиныхъ силъ будетъ

$$N = \frac{E}{75} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

Примѣръ 1. Тѣло вѣсомъ въ 120 кило должно быть поднято на высоту 1,5 метра въ 2 секунды. Какая нужна для этого работа?

Здѣсь $P = 120$ кило; $s = 1{,}5$ метра

поэтому $A = 120.\ 1{,}5 =$ киллограмметровъ.

Работа въ секунду

$$E = \frac{A}{t} = \frac{180}{2} = 90 \text{ киллограмметровъ}$$

и въ лошадиныхъ силахъ

$$N = \frac{E}{75} = \frac{90}{75} = 1{,}2 \text{ лошад. силы.}$$

Примѣръ 2. Работа въ 27 лошад. силъ $= 27.75 = 2025$ киллограметровъ въ секунду $= 27.550 = 14850$ фунтофут. англ.

((Одна англійская лошадиная сила $= 1{,}0139$ метрической лошадиной силы
„ метрическая „ „ $= 0{,}98631$ англійской „ „)

Примѣръ 3. Паровой молотъ вѣсомъ въ 2000 киллогр. дѣлаетъ 80 ударовъ въ минуту при высотѣ хода 0,4 метра. Какъ велика работа, употребляемая на подъемъ молота?

Работа при одномъ подъемѣ $2000\ \ 0{,}4 = 800$ киллограметровъ.

Работа въ секунду $\frac{800.0{,}4}{60} = 1067$ киллограмметр. $= 14{,}2$ пар. лош.

Примѣръ 4. Насосъ простаго дѣйствія дѣлаетъ 40 подъемовъ въ минуту и доставляетъ при каждомъ подъемѣ 25 литровъ воды на высоту 20 метровъ. Какъ велика работа насоса, если не обращать вниманіе на вредныя сопротивленія?

Насосъ доставляетъ въ секунду $\frac{55.40}{60} = 16\frac{2}{3}$ киллогр.

Слѣд. работа въ секунду $16\frac{2}{3}.\ 20 = 333{,}3$ киллограметровъ $= 4{,}44$ лош. силъ.

Примѣръ 5. Для движенія экипажа по горизонт. дорогѣ нужна средняя сила $= 500$ кило; если лошади двигаютъ его со скоростію 0,9 м., то какъ велика ихъ работа?

Дѣйствіе $= 500.\ 0{,}9 = 450$ киллограмметровъ $= 6$ паров. лошад.

Примѣръ 6. Рабочій пилитъ дерево ручною пилой. Среднее давленіе, производимое имъ на пилу по направленію движенія, пусть 10 кило. Онъ дѣлаетъ 70 разрѣзовъ въ минуту при ходѣ пилы 0,33 м. Какъ велика работа рабочаго?

Скорость пилы $\frac{2.\ 0{,}33.\ 70}{60} = 0{,}77$ метр.

Работа въ секунду $10.\ 0{,}77 = 7{,}7$ киллограмметра.

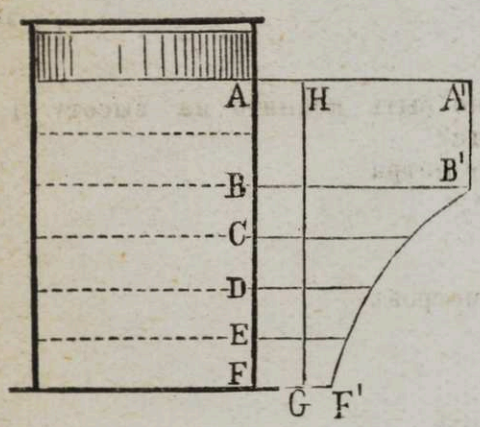
Примѣръ 7. Работа паровой машины съ расширеніемъ. Діаметръ пароваго цилиндра пусть 36 сантиметровъ, ходъ поршня 0,9 метра. Когда поршень прошелъ $^1/_5$ хода, паръ отсѣкается, такъ что онъ дѣйствуетъ потомъ расширеніемъ. Упругость пара предъ отсѣчкой пусть 5 атмосферъ, противодѣйствіе на поршень 1,2 атмосферы. Какую работу развиваетъ паръ при одномъ ходѣ?

Площадь пароваго цилиндра . . . . . = 1018 кв. сант.
Давленіе пара на 1 кв. сант. площади при 1 атмосферѣ . . . = 1,033 килогр.
Поэтому давленіе пара на 1018 кв. сант. площади
при 5 атмосферахъ . . . . . 1,033.1018.5 = 5258 „
А противодѣйствіе на поршень . . . . . 1,033.1018.1,2 = 1262 „

Чтобы найти работу пара, раздѣлимъ цилиндръ AF на 6 равныхъ цилиндрическихъ слоевъ.

На длинѣ первыхъ двухъ частей высотою $AB = 0{,}3$ метра паръ дѣйствуетъ полнымъ давленіемъ 5257 кило. Если отложимъ это давленіе въ видѣ ординаты AA' и начертимъ прямоугольникъ $AA'B'B$, то площадь этого прямоугольника можно разсматривать какъ работу пара предъ отсѣчкой. Поэтому эта работа

$$0{,}3.5258 = 1577 \text{ килогр. метр.}$$



фиг. 117.

При движеніи поршня отъ B къ C паръ расширяется, такъ что изъ объема 2 переходитъ въ объемъ 3. Такъ какъ давленіе пара уменьшается почти въ такой же пропорціи, какъ увеличивается его объемъ, то давленіе пара въ C составитъ почти $^1/_5$ отъ полнаго давленія. Подобнымъ же образомъ найдемъ давленіе въ D, E и F. Поэтому

Давленіе въ $C = \frac{2}{3}\ 5258 = 3505$ кило.

$D = \frac{1}{2}\ 5258 = 2629$ „

$E = \frac{2}{5}\ 5258 = 2103$ „

$F = \frac{1}{3}\ 5258 = 1752$ „

Если начертимъ эти силы въ соотвѣтствующихъ имъ точкахъ въ видѣ ординатъ, то получимъ фигуру $BB'F'E$, которая съ одной стороны ограничена кривою линіею $B'F'$ и площадь которой выражаетъ работу, которую произвелъ паръ на длинѣ пути BE. Но эту площадь можно вычислить, разсматривая образующія ее 4 части за трапеціи. Примѣнивъ правило Симпсона, получимъ работу (ибо $BC = CD = 0{,}15$)

$$\frac{0{,}15}{3}\left(5258 + 1752 + 4\ (3505 + 2103) + 2.2629\right) = 1735 \text{ килогр. метр.}$$

Поэтому полная работа пара при одномъ ходѣ, не принимая въ разсчетъ противодѣйствія,

$$15747 + 1735 = 3312 \text{ килогр. метр.}$$

Если приведемъ прямую GH параллельно AF на разстояніи $AH = 1262$ килогр., то площадь прямоугольника $AHGF$ представитъ работу противодѣйствія при одномъ ходѣ. Поэтому эта работа

$$0{,}9.1262 = 1136 \text{ килогр. метр.}$$

Слѣдовательно работа пара, не принимая въ расчетъ треніе поршня въ цилиндрѣ, стержня поршня въ сальникѣ и пр.

$$3312 - 1136 = 2176 \text{ килогр. метр.}$$

Если машина дѣлаетъ 45 двойныхъ ходовъ въ минуту, то

$$\text{работа ея въ секунду} = \frac{2176.2.45}{60} = 3264 \text{ килогр. метр.} = 43{,}52 \text{ лошади.}$$

55. Начало живыхъ силъ. I. Если m есть масса движущейся точки и v ея скорость въ какой-нибудь моментъ движенія, то называютъ произведеніе

$$\frac{mv^2}{2}$$ живою силою точки въ данный моментъ.

Но это названіе никоимъ образомъ не соединяется съ понятіемъ о какой-нибудь силѣ; а только выражаетъ, что масса и скорость движущейся точки имѣютъ опредѣленное соотношеніе. Если скорость измѣняется и въ другой моментъ времени будетъ v_1, то измѣняется также и живая сила и будетъ тогда $\frac{mv_1^2}{2}$. Живая сила за истекшій промежутокъ времени (претерпѣла) измѣненіе =

$$= \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv^2}{2}$$

и эта величина можетъ быть разсматриваема, какъ живая сила пріобретенная или израсходованная въ этотъ промежутокъ времени, смотря потому сдѣлалась ли v_1 болѣе или менѣе, чѣмъ v. Если измѣненіе скорости происходитъ подъ вліяніемъ постоянной силы P и полученное поэтому движеніе есть равномѣрно перемѣнное (ускоренное или замедленное), и прямолинейное, то увеличеніе скорости въ секунду, т. е. ускореніе p найдется, какъ извѣстно, изъ

$$p = \frac{P}{m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\alpha)$$

Далѣе путь s, пройденный въ то время какъ скорость v возрастала до v_1, найдется изъ

$$s = \left(\frac{v_1^2 - v^2}{2}\right)\frac{1}{p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (\beta)$$

Если въ уравненіе β подставимъ вмѣсто p его величину изъ уравненія α, то получимъ

$$s = \left(\frac{v_1^2 - v^2}{2}\right)\frac{1}{\frac{P}{m}} = \left(\frac{v_1^2 - v^2}{2}\right)\frac{m}{P}.$$

Умножая на P получимъ:

$$Ps = m\left(\frac{v_1^2 - v^2}{2}\right) = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv^2}{2} \quad \ldots\ldots (1)$$

Но произведеніе $P.\ s$ есть соотвѣтствующая данному движенію механическая работа; вторая же часть уравненія представляетъ пріобретенную или израсходованную живую силу. Вотъ это уравненіе и выражаетъ начало живыхъ силъ:

При движеніи точки израсходованная механическая работа равна приращенію живой силы.

Если $v = 0$, т. е. предъ началомъ дѣйствія силы P движущаяся точка была въ покоѣ, то

$$p = \frac{P}{m};\quad s = \frac{v_1^2}{2}\cdot\frac{1}{p} \text{ и } P.s = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{v_1^2}{2g} \quad \ldots (2)$$

Это уравненіе показываетъ какое количество работы должно подѣйствовать на тѣло, чтобы изъ состоянія покоя сообщить скорость v. Эта работа употребляется на ускореніе массы, на преодолѣніе инерціи, но не для преодолѣнія сопротивленій.

Примемъ теперь, что тѣло съ массою m и вѣсомъ G удерживается на нѣкоторой высотѣ h и въ опредѣленный моментъ дѣлается свободнымъ, то произойдетъ движеніе вертикально внизъ по законамъ свободнаго паденія. На тѣло дѣйствуетъ притяженіе земли и увеличеніе скорости въ секунду дается ускореніемъ тяжести $g = 9{,}81$ метр.

Поэтому въ верхнихъ формулахъ слѣдуетъ для этого частнаго случая написать g вмѣсто p и высоту паденія h вмѣсто s, а также G вмѣсто P:

$$g = \frac{G}{m}; \quad h = \frac{v_1^2}{2} \cdot \frac{1}{g} \text{ или } v_1 = \sqrt{2gh}$$

отсюда получается конечная скорость, съ которою тѣло падаетъ на поверхность земли, наконецъ соотношеніе между механическою работою и живою силою

$$Gh = \frac{mv_1^2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3).$$

Тѣло при свободномъ паденіи съ высоты h развиваетъ механическую работу, которая равна полученной при этомъ живой силѣ. Уравненіе это можно также выразить словесно:

Если тѣло вѣсомъ G и массы m приводится въ движеніе постоянною силою на опредѣленномъ пути s и при этомъ получаетъ конечную скорость v_1, то получится живая сила, которая столь же велика, какъ та механическая работа, которая соотвѣтствуетъ свободному паденію тѣла съ конечной скоростію v_1, соотвѣтствующей высотѣ паденія.

При свободномъ паденіи тѣла съ высоты h его вѣсъ дѣйствуетъ какъ сила n, такъ какъ онъ можетъ быть разсматриваемъ какъ постоянный, получается равномѣрно-ускоренное движеніе. Такъ какъ для начала паденія живая сила $= 0$, но къ концу его $= \frac{mv_1^2}{2}$, то можно сказать:

Сила на путь = пріобретенной живой силѣ.

Если бы тоже самое тѣло было брошено вертикально вверхъ и при началѣ движенія имѣло начальную скорость v_1 = прежней конечной скорости, то оно должно было бы достигнуть той же самой высоты h_1, съ которой оно прежде должно было упасть, чтобъ получить v_1. При бросаніи вверхъ живая сила при началѣ движенія $= \frac{mv_1^2}{2}$ и къ концу его = нулю, потому что тѣло должно подниматься до тѣхъ поръ, пока его конечная скорость достигнетъ величины нуля. Слѣдовательно первоначально имѣвшаяся живая сила потеряется и такъ какъ при этомъ во время всего подъема тѣла его собственный вѣсъ былъ направленъ противоположно движенію, слѣдовательно долженъ быть разсматриваемъ какъ постоянное сопротивленіе, то можно формулу (3) выговорить еще и такъ

Сопротивленіе умноженное на путь = потерянной живой силѣ.

II. Величина механической работы при измѣненіяхъ скорости. Если на тѣло массы m, двигающееся съ скоростію v, начинаетъ въ нѣкоторый моментъ дѣйствовать постоянная

сила P на пространствѣ s, то скорость v будетъ постепенно увеличиваться и въ концѣ пути s перейдетъ въ v_1. По уравненію (1)

$$P \cdot s = m\left(\frac{v_1^2 - v^2}{2}\right).$$

Если бы m, v и v_1 были даны, то могла бы отсюда быть вычислена величина механической работы

$$A = Ps = m\left(\frac{v_1^2 - v^2}{2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

которая должна быть употреблена, чтобы измѣнить скорость v на v_1 на длинѣ опредѣленнаго пути или же въ опредѣленное время. Это уравненіе называется уравненіемъ живыхъ силъ.

Если же наоборотъ масса m двигается съ начальною скоростію v и эта скорость, дѣлаясь все менѣе и менѣе вслѣдствіе противодѣйствующаго движенію постояннаго сопротивленія, въ концѣ нѣкотораго времени принимаетъ величину v_1, такъ что $v_1 < v$, то механическая работа должна быть отдана на преодолѣніе сопротивленія и она будетъ по той формулѣ:

$$A = Ps - m\left(\frac{v_1^2 - v^2}{2}\right)$$

при чемъ слѣдуетъ только принять въ соображеніе, что, вслѣдствіе $v_1 < v$, выраженіе получитъ отрицательное значеніе.

Слѣдовательно механическая работа, которая въ первомъ случаѣ должна быть употреблена, чтобы увеличить v до v_1, по числовой величинѣ будетъ равна механической работѣ, которая должна быть отдана для преодолѣнія постояннаго сопротивленія, уменьшающаго скорость v до v_1.

Если, поэтому, сила дѣйствуетъ на покоющееся тѣло и приводитъ его въ опредѣленное состояніе движенія или если силы, дѣйствуя по направленію движенія, вызываетъ въ двигающемся тѣлѣ увеличеніе скорости, то этому дѣйствію силы въ обоихъ случаяхъ соотвѣтствуетъ принятіе нѣкоторой живой силы со стороны массы тѣла, которая накопляется въ немъ подобно жидкости въ резервуарѣ и можетъ быть употреблена при потребности для преодолѣнія сопротивленія. — Но какъ резервуаръ неможетъ отдать жидкости болѣе, чѣмъ ее въ немъ было скоплено, точно также и масса тѣла не можетъ отдать большей живой силы, чѣмъ она ее прежде получила. Поэтому накопленная въ массѣ тѣла живая сила при продолжающемся противодѣйствіи мало-по-малу должна уменьшаться и наконецъ масса тѣла должна прійти въ состояніе покоя.

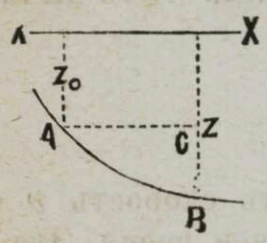
Изъ 4 уравненія вытекаютъ еще слѣдующія положенія:

I. Работа, развиваемая на данномъ пространствѣ, равна половинѣ массы, умноженной на разность квадратовъ скоростей. Она не зависитъ отъ времени, въ продолженіи коего она совершена; не зависитъ отъ вида описываемой траэкторіи: видъ кривой можетъ измѣняться, но развиваемая работа остается таже; слѣдовательно не зависитъ отъ длины пройденнаго пути, но только отъ начальной и конечной скорости.

Если точка движется подъ вліяніемъ силы тяжести изъ мѣста A

(фиг. 118) въ разстояніи z, подъ горизонталью XX_1 до мѣста B на разстояніи z подъ тою же горизонталью, то работа тяжести будетъ

$$G \,.\, BC = G\,(z - z_0) \text{ и потому } \frac{G}{2g}\,(v_1^2 - v^2) = G\,(z - z_0).$$



фиг. 118.

Движущаяся между двумя горизонтальными плоскостями точка должна поэтому въ одной и той же плоскости принимать всегда одну и ту же скорость, каковъ бы ни былъ путь, по которому она движется отъ одной горизонтали къ другой; при поперемѣнномъ движеніи скорость въ однихъ и тѣхъ же мѣстахъ во всякомъ случаѣ достигаетъ своего максимума или минимума; скатываясь по наклонной плоскости, точка прійдетъ къ основанію съ той же самой скоростію, какъ если бъ она упала отвѣсно съ высоты равной вертикальной проэкціи наклонной плоскости. Это явленіе называется началомъ сохраненія живой силы.

Если будемъ разсматривать ускореніе p въ предъидущихъ формулахъ какъ равнодѣйствующее произвольной системы ускореній, дѣйствующихъ на движущуюся точку, тогда

II. Работа A равнодѣйствующей силы равна суммѣ работъ слагающихъ силъ, какъ это легко доказать и при помощи начала возможныхъ перемѣщеній.

Формула 4 выражаетъ работу, которая необходима для того, чтобы тѣлу съ начальной скоростію v сообщить скорость v_1, если не имѣется сопротивленій. Если же имѣющіяся сопротивленія обозначимъ чрезъ W, то искомая работа должна быть

$$Ps = \frac{G}{g}\,\frac{v_1^2 - v^2}{2} + W \ldots\ldots\ldots (5).$$

и средняя величина силы, которая можетъ на пространствѣ s развить эту работу, будетъ

$$P = \frac{G}{g}\,\frac{v_1^2 - v^2}{2s} + \frac{W}{s} \ldots\ldots\ldots (6).$$

Правило. Умножь половину вѣса движущагося тѣла въ киллограммахъ на квадратъ его скорости въ метрахъ и раздѣли произведеніе на ускореніе тяжести, т. е. на постоянное число 9,81 частное будетъ живая сила въ киллограммметрахъ

Примѣръ 1. Какую работу долженъ развить паръ въ паровозѣ чтобъ изъ состоянія покоя сообщить ему скорость 10 м. въ секунду, если примемъ что только ускоряется масса паровоза, но не преодолѣваются другія сопротивленія? Пусть вѣсъ паровоза 25 тоннъ = 25000 киллограммметровъ.

Слѣдов. живая сила $= \frac{25000.10^2}{2.9{,}81} = 127421$ киллограммметровъ.

Примѣръ 2. Если этотъ паровозъ долженъ пройти путь 200 метр., пока онъ могъ бы получить скорость 10 метр. и если треніе составляетъ $^1/_{100}$ отъ вѣса паровоза, то сколько должно быть израсходовано на длинѣ этого пути работы на треніе и на ускореніе массы?

Постоянное сопротивленіе тренія = 25000 : 100 = 250 килогр.

Работа, поглощаемая этимъ сопротивленіемъ на пути 200 м. = 250. 200 = 50000 киллограммметровъ.

Работа на ускореніе массы (примѣръ 1) = 127421 киллограмметровъ.
Полная работа 50000 + 127421 = 177421 „
Слѣд. при пусканіи паровоза употребляется почти въ $2^1/_2$ раза болѣе работы на ускореніе массы, чѣмъ на преодолѣніе тренія.

Если время, необходимое для этого движенія, = 40 секундамъ и машина работаетъ постоянно, то работа въ секунду 177421 : 40 = 4435 киллограметровъ = 59,1 пар. лош.

Если отъ момента, когда скорость паровоза составляетъ 10 метровъ, эта скорость должна оставаться постоянною, то слѣдуетъ преодолѣвать только треніе. Для этого нужно

работа = 250. 10 = 2500 киллограмметр. = 33,3 пар. лош.

Примѣръ 3. Какъ далеко могъ бы пройти этотъ паровозъ съ запасенною живою силою, пока не остановился бы вслѣдствіе тренія?

Живая сила паровоза = 127421 киллограмметровъ.
Постоянное сопротивленіе = 250 килогр.
Поэтому искомое пространство = 126400 : 250 = 505,6 метровъ.

Примѣръ 4. Какую работу долженъ развить пороховой газъ въ орудіи, чтобы снаряду въ 3 киллогр. вѣсомъ сообщить скорость 500 метр. въ секунду?

Дано $G = 3$ киллогр.; $v = 500$ метр. и $g = 9{,}81$ метра, слѣдовательно работа $A = \frac{3.\,500^2}{2.\,9{,}81} = 38266$ киллограмметровъ. Если ядро проходитъ въ орудіи путь 0,9 м. и во все это время пороховой газъ дѣйствуетъ на ядро съ силою p, то работа этой силы 0,9 p киллогр. метр. Откуда среднее давленіе пороховаго газа $p = 38266 : 0{,}9 = 42518$ киллогр. Если діаметръ чугуннаго ядра въ 3 киллогр. = 9,267 сантиметр., то его наибольшее сѣченіе = 67,446 квадр. сантим. Давленіе газа на 1 квадр. сантиметръ площади 42518 : 67,446 = 635 киллогр. Давленіе атмосферы на 1 квадр. сантим. = 1.033 кило, поэтому среднее давленіе пороховаго газа 635 . 1,033 = 624 атмосферы. Если послѣ выстрѣла ядро входитъ на 3 м. глубины въ земляной валъ, то среднее сопротивленіе земли 38206 . 3 = 12755 киллогр.

Примѣръ 5. Какую работу нужно употребить, чтобъ сообщить нагруженной каретѣ въ 40000 фунтовъ вѣсомъ скорость 10 фунтовъ?

$$\frac{4000}{2} \cdot \frac{10^2}{32{,}16} = \text{почти } 6213 \text{ фунтофутамъ.}$$

Замѣчаніе. Если для сообщенія этой каретѣ скорости въ 10 футъ были употреблены 2 секунды времени и 10 футъ дороги, то на преодолѣніе силы тренія при коэффиціентѣ его въ $^1/_{25}$ потребовалось бы еще силы $\frac{1000}{25} = 160$ фунтовъ; работа $160 \times 10 = 16000$ фун.-фут.; слѣдовательно всего 1600 + 6213 = 7813 ф. ф.

И такъ въ первое время, для сообщенія каретѣ надлежащей скорости, надобно около 6 разъ болѣе работы, чѣмъ для преодолѣнія силы тренія.

Вотъ причина почему везти экипажъ по дорогѣ гораздо легче, чѣмъ сдвигать его съ мѣста и почему также чрезвычайно вредно для лошадей останавливаться у подъѣздовъ быстро.

Наконецъ таже самая живая сила, накопившаяся въ массѣ экипажа, помогаетъ плохимъ лошадямъ взвозить его съ разбѣга на крутые пригорки.

Примѣръ 6. Много ли работы имѣетъ въ себѣ вода, протекающая со скоростію 2 метровъ въ количествѣ 1 куб. метра?

Отвѣтъ: 1 куб. метръ воды вѣситъ 1000 килогр. Поэтому

$$\text{работа} = \frac{1000}{2} \times \frac{(2)^2}{9{,}81} = 203{,}9 \text{ килограмметра} = 2{,}72 \text{ лош.}$$

Примѣръ 7. Какъ велика живая сила въ ободѣ чугуннаго маховика дѣлающаго 40 оборотовъ въ минуту и имѣющаго ободъ въ 0,03 кв. метра при среднемъ діаметрѣ его въ 5,6 метра?

Вѣсъ обода = 0,03. 5,6. 3,14. 7200 = 3763 килограм.

Скорость обода $\frac{5{,}6.\ 3{,}14.\ 40}{60} = 11{,}7$ метр. въ секунду.

Живая сила $\frac{3763.\ (11{,}72)^2}{2.\ 9{,}81} = 26345$ килограмметра = 351,2 лошад.

Примѣръ 8. Пусть въ шахтѣ, имѣющей глубину 80 саж. устроенъ давящій ставъ насосовъ и водоподъемная паровая машина съ ходомъ поршня въ 8 футовъ. Пусть также вѣсъ столба воды въ трубахъ равенъ 350 пудамъ, а вѣсъ тяги 400 пудамъ, при чемъ она уравновѣшиваетъ треніе всего механизма. Спрашивается какой грузъ надобно придать тягѣ, чтобъ при концѣ хода поршня, скорость не превышала 3 футовъ?

Общій вѣсъ воды и тяги = 750 пуд. = 30000 фунт.

Живая сила ихъ при движеніи со скоростію 3 фут. будетъ

$$\frac{30000}{2} \times \frac{(3)^2}{32,16} = 4194 \text{ ф. ф.},$$

а такъ какъ добавочный грузъ долженъ развить эту работу на пространствѣ хода въ 8 фут. — онъ будетъ равенъ

$$\frac{4194}{8} = 524 \text{ ф} = 13 \text{ пудамъ.}$$

Спрашивается теперь, во сколько времени совершится нисхожденіе поршня?

$$\text{Ускореніе} = \frac{524}{30000} \times 32,16 = 0,56 \text{ фут.}$$

$$\text{Время} = \sqrt{\frac{2 \times 8}{0,56}} = 5,3 \text{ сек.}$$

Примѣръ 9. Какова работа, потребная для движенія пожарной трубы, выбрасывающей въ секунду 10 литровъ воды со скоростію 15 метровъ?

Отвѣтъ: Вѣсъ 10 литровъ воды = 10 килограмм.

$$\text{Поэтому работа въ секунду } \frac{10.\ 15^2}{2.9,81} = 114,6 \text{ киллограмметровъ.}$$

Работа, которую нужно употребить на преодолѣніе различныхъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ водою при проходѣ чрезъ насосы и трубы, здѣсь не заключается.

Примѣръ 10. Чрезъ нѣкоторое, сдѣланное перпендикулярно къ направленію движенія воды, поперечное сѣченіе ручья или канала протекаетъ въ каждую секунду количество воды 10,8 куб. метр. съ среднею скоростію $v = 1,8$ метра? Какъ велика механическая работа, которая могла бы быть получена отъ этой текущей воды?

Объемъ въ секунду составляетъ 10,8 куб. метр., слѣдовательно абсолютный вѣсъ

$$G = 1000.\ 10,8 = 10800 \text{ килограм.}$$

и потому его масса

$$M = \frac{G}{g} = \frac{10800}{9,81} = 1100,91$$

поэтому

$$A = \frac{mv^2}{2} = \frac{1100,91.\ 1,8^2}{2} = 1783,47 \ K.\ M.$$

что есть работа въ секунду она въ лошадиныхъ силахъ будетъ:

$$N = \frac{1783,\ 47}{75} = 23,77 \text{ лошад. силы.}$$

которыя и могутъ быть употреблены для производства.

Скорость v можетъ быть опредѣлена также изъ паденія воды, какъ будто бы она свободно падала съ опредѣленной высоты h. По закону свободнаго паденія эта высота была бы

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{1,8^2}{2.\ 9,81} = 0,\ 165 \text{ метра.}$$

Но такъ какъ механическая работа свободнаго паденія есть $A = Gh$, то она можетъ быть также вычислена изъ:

$$A = 10800.\ 0,165 = 1782 \text{ килограмметра}$$

$$\text{поэтому } N = \frac{1782}{75} = 23,76 \text{ лошад. силы.}$$

Небольшая разница результатовъ перваго и второго способа вычисленія происходитъ отъ менѣе точнаго веденія послѣдняго.

Всѣ эти примѣры ясно показываютъ до какой степени важную роль играетъ въ механикѣ законъ живыхъ силъ.

Примѣръ 11. Горизонтальная паровая машина имѣетъ ходъ 1,1 м. и дѣлаетъ 40 оборотовъ въ минуту. Вѣсъ массъ (поршня, стержня поршня и шатуна) движущихся впередъ и назадъ пусть = 260 килогр. Эти массы при каждомъ ходѣ движутся то ускоренно, то замедленно. Слѣдовательно въ минуту этимъ массамъ 80 разъ то подводится живая сила, то отнимается отъ нихъ. Какъ велика эта работа?

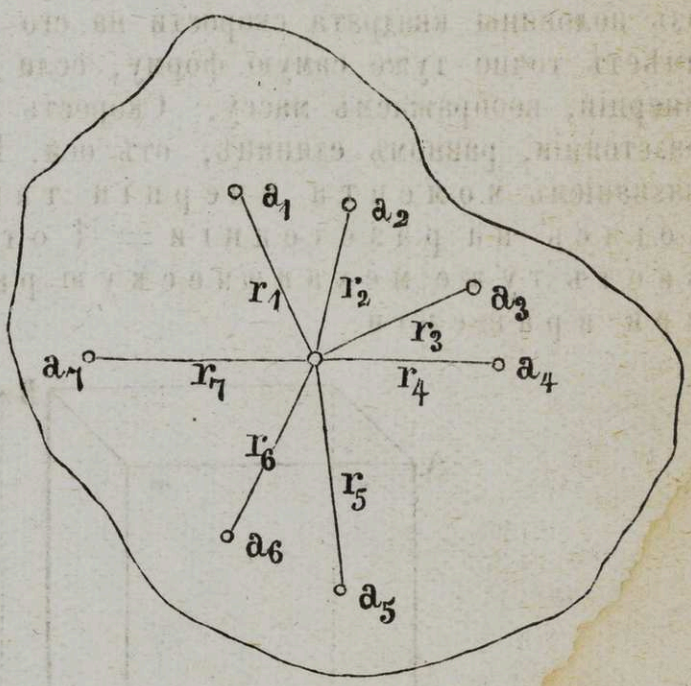
Такъ какъ діаметръ круга кривошипа = 1,1 м., то путь пальца кривошипа при одномъ оборотѣ = 1,1.3,14 = 3,45 м., а при 40 оборотахъ, т. е. въ минуту = = 3,45.40 = 138 м., что даетъ въ секунду 2,3 м. Наибольшая скорость массъ движущихся впередъ и назадъ, получается на срединѣ хода, гдѣ она почти равна скорости 2,3 м. пальца кривошипа. Слѣдовательно живая сила частей, имѣющихъ перемѣнное движеніе,

$$\frac{260.(2,3)^2}{2.9,81} = 70,1 \text{ килограммметровъ.}$$

Эта паровая машина даетъ при одномъ ходѣ работу 2800 киллограммметровъ; слѣдовательно живая сила частей составляетъ около $^1/_{40}$ работы за ходъ. Эта живая сила не теряется, но при каждомъ ходѣ вступаетъ въ маховикъ и выходитъ изъ него; вслѣдствіе чего движеніе маховика получается нѣсколько неравномѣрное

56. Живая сила вращающагося тѣла. I. Моментъ инерціи. Если тѣло имѣетъ прямое или криволинейное движеніе, то всѣ его точки имѣютъ одну и туже скорость. Живая сила такого тѣла поэтому можетъ быть опредѣляема, какъ при матеріальной точкѣ — произведеніемъ изъ всей массы тѣла, на половину квадрата его скорости. Если же напротивъ тѣло вращается около произвольной оси, то его различныя матеріальныя точки имѣютъ различныя скорости (на окружности) и поэтому живая сила вращающагося тѣла должна быть представляема иначе, чѣмъ при поступательномъ движеніи въ пространствѣ.

Примемъ, что тѣло A (фиг. 119) произвольной формы вращается около оси, проходящей чрезъ O.



фиг. 119.

Угловая скорость (т. е. скорость вращенія на разстояніи = 1 отъ оси вращенія) пусть W, далѣе пусть a_1, a_2, a_3, a_4 . . . a_7 рядъ принадлежащихъ тѣлу матеріальныхъ точекъ, коихъ массы обозначимъ чрезъ m_1, m_2, m_3, . . . m_7.

Такъ какъ эти различныя точки имѣютъ различныя разстоянія r_1, r_2, r_3, . . . r_7 отъ оси вращенія, то каждая изъ нихъ вообще будетъ имѣть другую скорость вращенія, которая всегда выражается произведеніемъ изъ угловой скорости на разстояніе точки отъ оси вращенія. Поэтому эти скорости вращенія выразятся чрезъ wr_1, wr_2, wr_3 . . . wr_7 . . . wr_n.

Живая сила, развиваемая при вращеніи различными частичками, будетъ

$$\frac{m_1w^2r_1^2}{2}, \quad \frac{m_2w^2r_2^2}{2}, \quad \frac{m_3w^2r_3^2}{2}, \quad \ldots \quad \frac{m_nw^2r_n^2}{2}$$

и такъ какъ живая сила всего тѣла равна суммѣ живыхъ силъ всѣхъ его частей, то обозначая ее чрезъ L получимъ:

$$L = \frac{m_1 w^2 r_1^2}{2} + \frac{m_2 w^2 r_2^2}{2} + \frac{m_3 w^2 r_3^2}{2} + \ldots \frac{m_n w^2 r_n^2}{2}$$

или $$L = \frac{w^2}{2} (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3 + \ldots m_n r_n^2)$$

и если сумму произведеній въ скобкахъ обозначимъ чрезъ $\Sigma\ [mr^2]$

$$L = w^2\ \Sigma\ (mr^2).$$

Живая сила, которая будетъ накоплена въ тѣлѣ при вращеніи, равна механической работѣ, которая должна быть употреблена; и поэтому

$$A = \frac{w^2}{2} \Sigma\ (mr^2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad 16)$$

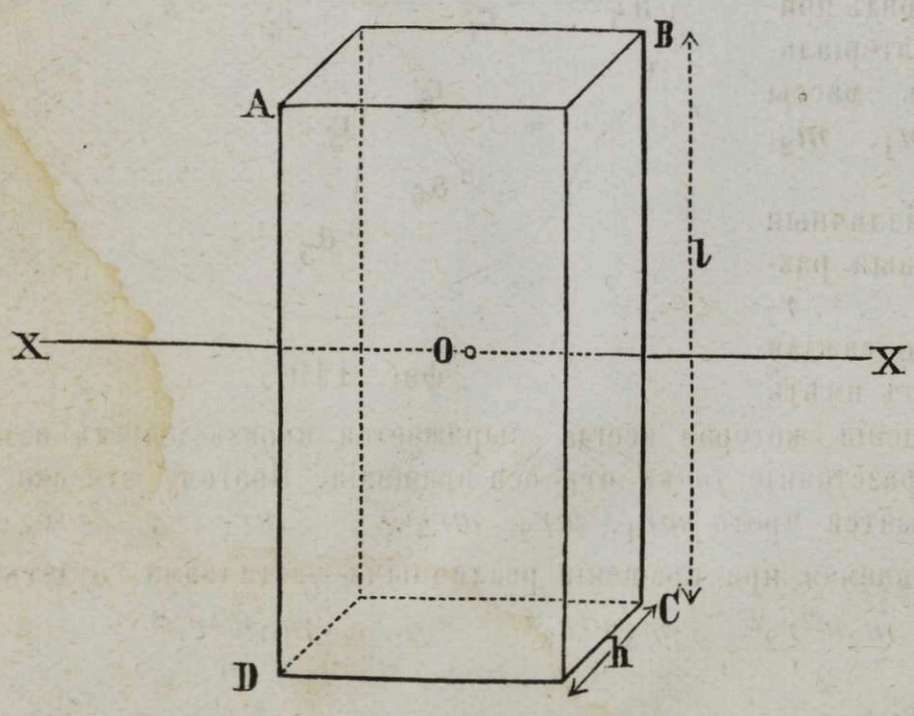
$\Sigma\ (mr^2)$, то есть сумма всѣхъ произведеній различныхъ частичекъ массы на квадратъ имъ соотвѣтствующихъ разстояній отъ оси вращенія называется моментомъ инерціи; впредь будемъ ее всегда обозначать чрезъ J и тогда

$$\Sigma\ (mr^2) = J \ \ldots \ A = \frac{w^2}{2} J \ldots . \quad (17)$$

II. Понятіе о моментѣ инерціи. Мы нашли

$$A = \frac{w^2}{2} \cdot J$$

и по § 9 выразили механическою работу тѣла вообще произведеніемъ изъ половины квадрата скорости на его массу. Но предъидущее выраженіе имѣетъ точно туже самую форму, если мы подъ J, т. е. подъ моментомъ инерціи, воображаемъ массу. Скорость w она находится при вращеніи на разстояніи, равномъ единицѣ, отъ оси. Вслѣдствіе этого понимаютъ подъ названіемъ момента инерціи такую массу, которая, находясь на разстояніи = 1 отъ оси вращенія, развиваетъ туже механическую работу, какъ и самое тѣло при вращеніи.



фиг. 120.

Въ двухъ съ одинаковою угловою скоростію вращающихся тѣлахъ будетъ поэтому содержаться равная живая сила, если только ихъ моменты инерціи имѣютъ равныя величины.

III. Моменты инерціи различныхъ правильныхъ тѣлъ. Для момента инерціи параллелопипеда $ABCD$ относительно оси xx, проходящей

чрезъ центръ тяжести онаго и параллельной одной изъ его боковыхъ реберъ, находится путемъ высшаго анализа

$$J = \frac{1}{12}\frac{G}{g}(h^2 + l^2) \quad (18)$$

при чемъ G обозначаетъ вѣсъ, g ускореніе тяжести, h и l размѣры указанные въ фигурѣ 120 Третій, параллельный оси xx, размѣръ параллелопипеда имѣетъ вліяніе на моментъ инерціи только потому, что онъ уже содержится въ вѣсѣ G или въ объемѣ тѣла.

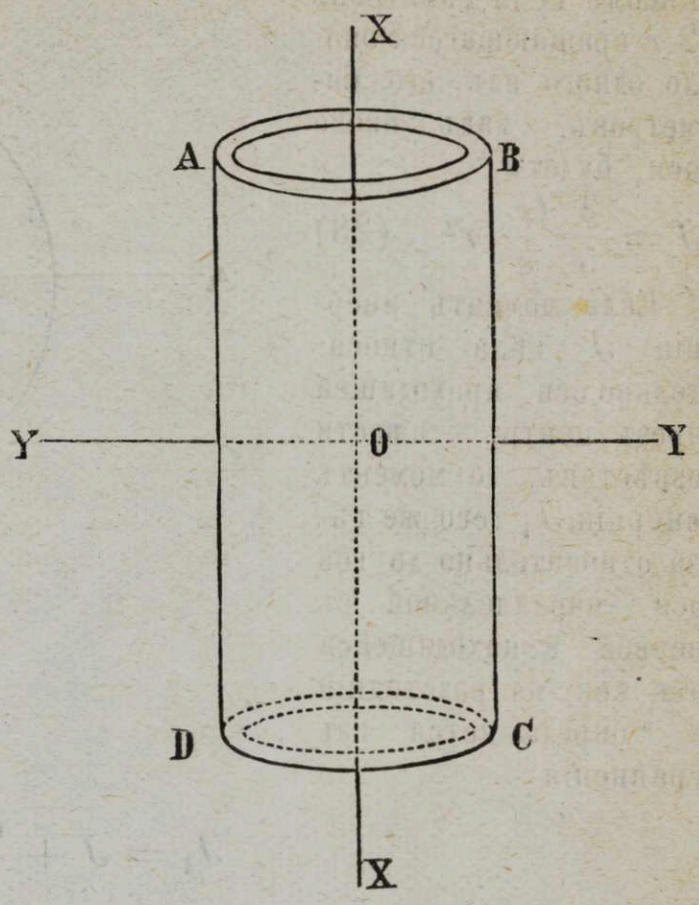
Для момента инерціи сплошнаго цилиндра вѣсомъ G въ отношеніи оси вращенія, совпадающей съ его геометрической имѣемъ выраженіе

$$J = \frac{1}{2}\frac{G}{g}r^2 \ldots (19)$$

и относительно оси вращенія yy, проходящей чрезъ центръ тяжести и перпендикулярной къ геометрической оси

$$J = \frac{1}{12}\frac{G}{g}(l^2 + 3r^2) \quad (20)$$

при этомъ r обозначаетъ радіусъ этого цилиндра и l его длину, G вѣсъ и g опять ускореніе тяжести.



фиг. 121

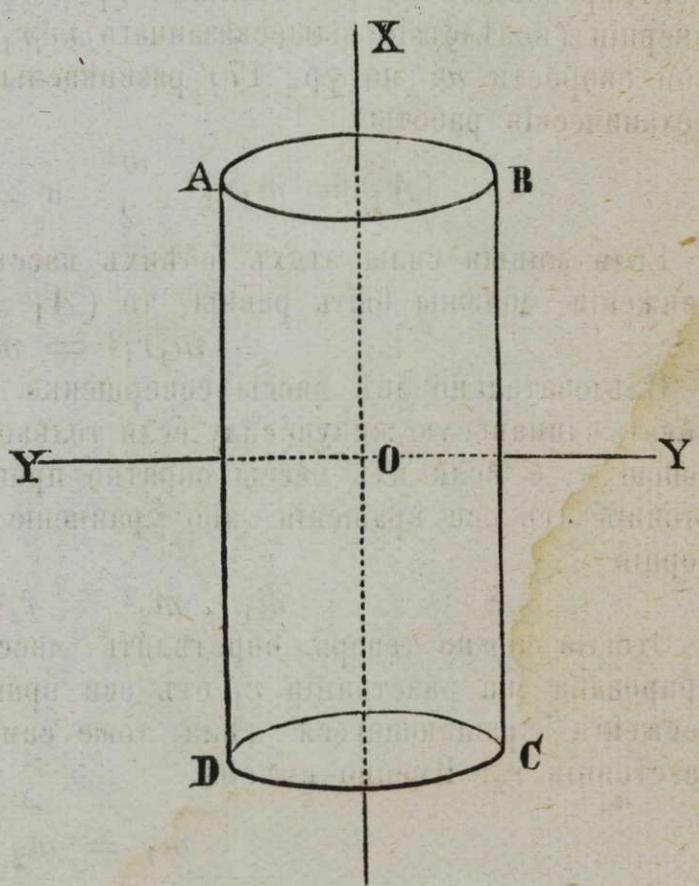
Моментъ инерціи цилиндрической трубы $ABCD$ (обода, кольца) (фиг. 121) наружнаго діаметра $2R$, внутренняго $2r$ относительно ея геометрической оси измѣряется чрезъ

$$J_x = \frac{1}{2}\frac{G}{g}(R^2 - r^2) \quad (21)$$

и моментъ инерціи того же тѣла относительно оси YY проходящей чрезъ центръ тяжести и перпендикулярной къ XX

$$J_y = \frac{1}{12}\frac{G}{g}(l^2 + 3(R^2 + r^2)) \ldots (22)$$

гдѣ G, g и l — тѣже величины, какъ прежде.

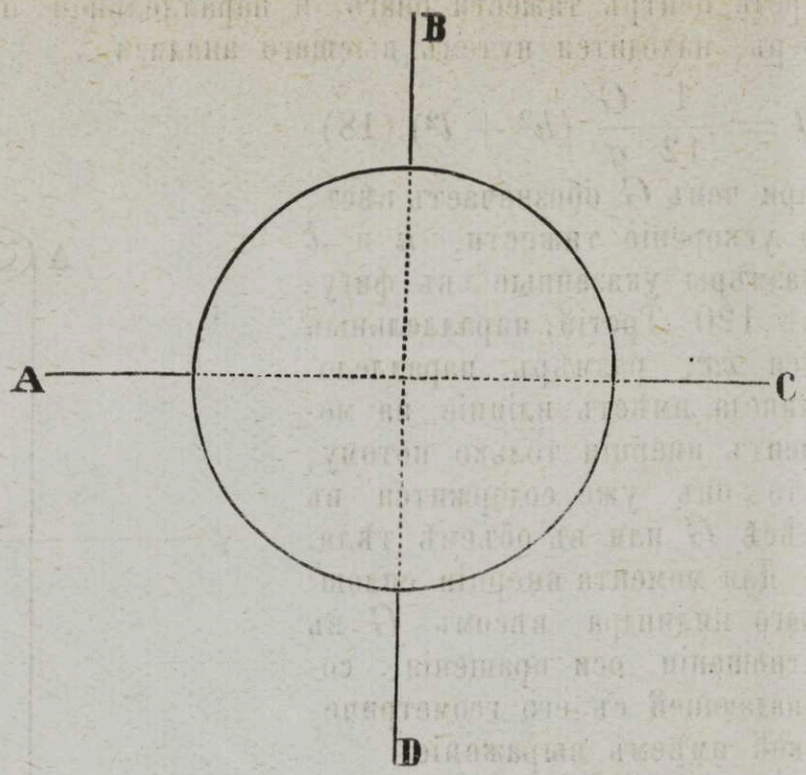


фиг. 122

Моментъ инерціи шара $ABCD$ (фиг. 123) вѣсомъ G и діаметровъ $2,r$ вращающагося около одного изъ его діаметровъ, какъ около оси, будетъ

$$J = \frac{2}{5}\frac{G}{g}r^2 \quad . \quad (23)$$

Если моментъ инерціи J тѣла относительно оси, проходящей чрезъ центръ тяжести извѣстенъ, то моментъ инерціи J_1 того же тѣла относительно другой оси, параллельной съ первой и находящейся отъ нея на разстояніи e, опредѣляется изъ уравненія



фиг. 123.

$$J_1 = J + \frac{G}{g}l^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

гдѣ опять G вѣсъ тѣла и g ускореніе тяжести.

IV. Отнесеніе массъ. Вообразимъ двѣ массы m_1 и m_2, сконцентрированныя въ разстояніяхъ r_1 и r_2 отъ оси вращенія; ихъ моменты инерціи (вслѣдствіе вышесказаннаго) $m_1r_1^2$ и $m_2r_2^2$ и для одинаковой угловой скорости w (по ур. 17) развиваемыя при вращеніи живыя силы или механическія работы

$$A_1 = m_1r_1^2\,\frac{w^2}{2} \quad \text{и} \quad A_2 = m_2r_2^2\,\frac{w^2}{2}$$

Если живыя силы этихъ обѣихъ массъ, находящихся во вращательномъ движеніи, должны быть равны, то $(A_1 = A_2)$ должно быть

$$m_1r_1^2 = m_2r_2^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

Слѣдовательно двѣ массы совершенно различной величины могутъ развивать одинаковую живую силу, если только ихъ моменты инерціи равны между собою, т. е. если ихъ массы обратно пропорціональны квадратамъ ихъ разстояній отъ оси вращенія, ибо уравненіе 25 можно писать въ видѣ пропорціи

$$m_1 : m_2^2 = r_2^2 : r_1^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

Отсюда можно теперь опредѣлить массу m_1, которая, будучи сконцентрирована на разстояніи r_1 отъ оси вращенія, производитъ на состояніе движенія вращающагося тѣла тоже самое вліяніе, какъ и масса m_2 на разстояніи r_2. Именно имѣемъ

$$m_1 = m_2\,\frac{r_2^2}{r_1^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27)$$

такъ что этимъ способомъ можно массу на одномъ разстояніи отъ оси отнести къ другому.

Если эта, находящаяся на разстояніи r_1 отъ оси вращенія, идеальная масса m_1 имѣетъ ту же самую живую силу, какъ и дѣйствительное тѣло, вращающееся около оси съ тою же угловою скоростію, то должно быть

$$m_1 r_1^2 = J \quad \ldots\ldots\ldots \quad (28)$$

если J моментъ инерціи послѣдняго тѣла; откуда слѣдуетъ

$$m_1 = \frac{J}{r_1^2} \text{ или также } r_1 = \sqrt{\frac{J}{m_1}} \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

Эту идеальную, воображаемую сконцентрированною въ одной точкѣ, массу m_1 называютъ массою вращающагося тѣла, отнесенною къ разстоянію r. Поэтому

$$\text{отнесенная масса} = \frac{\text{моменту инерціи}}{\text{квадратъ разстоянія отъ оси}}$$

и она развиваетъ ту же самую живую силу при ея вращеніи, какъ и дѣйствительное тѣло.

Точно также можно опредѣлить разстояніе r_1, на которомъ данная масса m_1 должна быть помѣщена отъ оси, чтобы получить туже самую живую силу, какъ и данное тѣло съ моментомъ инерціи J и съ равною угловою скоростью

$$\text{Разстояніе отъ оси} = \sqrt{\frac{\text{моментъ инерціи}}{\text{данная масса.}}}$$

Если масса m_1 должна быть равна всей массѣ тѣла M, то разстояніе, на которомъ M должна быть представляема сконцентрированною, чтобъ получить одинаковую живую силу:

$$r = \sqrt{\frac{J}{M}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

Это разстояніе называется радіусомъ инерціи.

$$\text{Радіусъ инерціи} = \sqrt{\frac{\text{моментъ инерціи}}{\text{вся масса тѣла.}}}$$

Радіусъ инерціи тѣла относительно данной оси вращенія есть корень квадратный изъ частнаго получаемаго отъ раздѣленія момента инерціи J тѣла для той же оси на массу M тѣла.

Радіусъ инерціи можно разсматривать какъ такое разстояніе отъ оси вращенія, на которомъ должна бы быть соединена въ одной точкѣ, на одномъ кругѣ или на одной цилиндрической поверхности вся масса тѣла, дабы дать одинаковый моментъ инерціи, какъ и дѣйствительное тѣло (или дабы дать ту же самую живую силу, какъ и данное тѣло съ моментомъ инерціи J и съ равной угловой скоростію).

Примѣръ 1. Какъ великъ моментъ инерціи цилиндра радіусомъ 100 мм. и длиною 1 метръ, вращающагося около оси y, y_2. Вѣсъ цилиндра 30 кило. По уравненію 20 имѣемъ для момента инерціи относительно оси, проходящей чрезъ центръ тяжести и перпендикулярной къ оси цилиндра

$$J = \frac{1}{12}\frac{G}{g}(l^2 + 3r^2) = \frac{1}{12} \cdot \frac{30}{9{,}81}(1^2 + 3 \cdot 0{,}1^2) = 0{,}2624.$$

и по формулѣ 24 для оси y, y_2 параллельной къ yy и находящейся на разстояніи 1,5 метра

$$J_1 = J + \frac{G}{g} l^2 = 0{,}2624 + \frac{30}{9{,}81} \cdot 1{,}5^2 = 7{,}1249$$

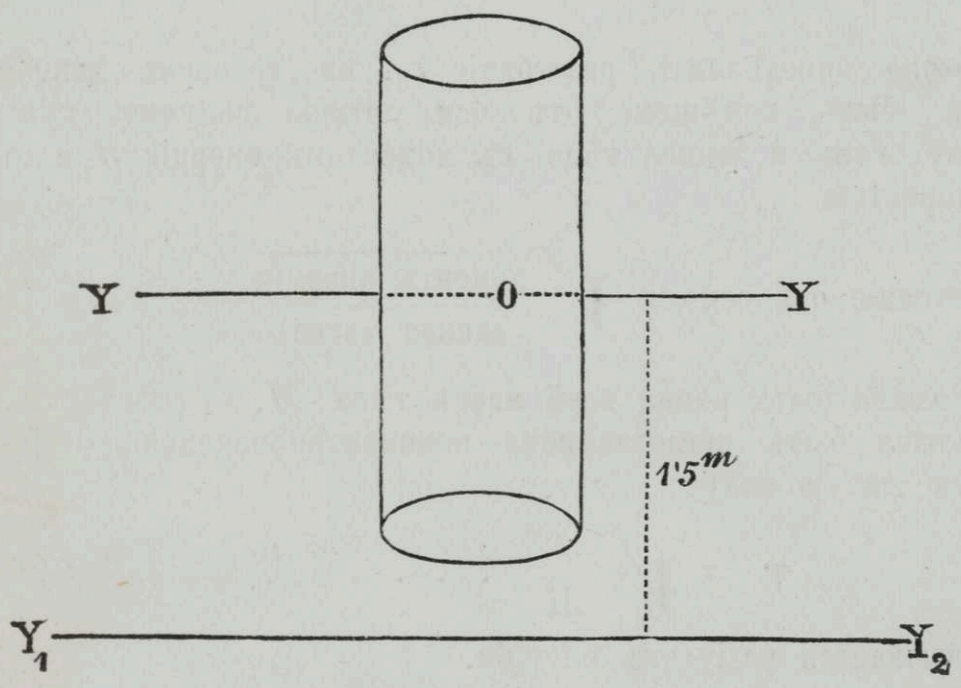
Если цилиндръ вращается около оси $y_1 y_2$ со скоростію $w = 1{,}2$ метра, то полученная живая сила

$$S = \frac{w^2}{2} J_1 = \frac{1{,}2^2}{2} 7{,}1249 = 5{,}1299 \text{ килогр. метр.}$$

Радіусъ инерціи

$$r = \sqrt{\frac{J}{M}} = \sqrt{\frac{\frac{J}{G}}{g}}, \text{ такъ какъ } M = \frac{G}{g} \text{ и}$$

$$r = \sqrt{\frac{J.g}{G}} = \sqrt{\frac{7{,}1249.9{,}81}{30}} = 1{,}526 \text{ метра.}$$



фиг. 124.

Если вообразимъ на разстояніи $r = 1{,}526$ метра точку, въ которой была бы соединена масса = всей массѣ цилиндра, то она разовьетъ ту же самую работу, какъ и самое тѣло, предполагая равныя угловыя скорости въ обоихъ случаяхъ.

Примѣръ 2. Чугунный маховикъ (фиг. 125) вращается около своей оси и дѣлаетъ 60 оборотовъ въ минуту. Наружный діаметръ обода=3,7 метра, внутренній 3,1 метра; ширина обода 300 мм., толщина 160 мм. Каждая изъ 6 ручекъ имѣетъ прямоугольное поперечное сѣченіе шириною 160 мм. и высотою 82 мм Втулка имѣетъ наружный діаметръ 420 мм. и въ расточкѣ 210 мм., длину 350 мм Какъ великъ моментъ инерціи всего маховика и какъ велика живая сила, которая будетъ собрана въ маховикѣ при данномъ числѣ его оборотовъ?

Такъ какъ въ формулѣ для опредѣленія момента инерціи входитъ вѣсъ, то прежде всего мы должны его вычислить. Обозначимъ γ удѣльный вѣсъ чугуна (кубическій метръ чугуна вѣситъ 7200 кило), то:

A) Вѣсъ обода маховика $G_1 = \gamma \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_1^2) d$

поэтому $G_1 = \frac{7200.3{,}14}{4} (3{,}7^2 - 3{,}1^2)\ 0{,}16 = 3689$ кило.

B) Вѣсъ одной ручки маховика $G_2 = \gamma bhl$

$G_2 = 7200.0{,}16.0{,}082.1{,}34 = 126$ кило.

C) Вѣсъ втулки $G_3 = \gamma \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_1^2)$

$G_3 = \frac{7200.3{,}14}{4} (0{,}42^2 - 0{,}21^2)\ 0{,}35 = 261{,}7$ кило.

Полный вѣсъ маховика

$$G = G_1 + 6G_2 + G_3 = 3689 + 6.126 + 261{,}7 = 4706 \text{ кило.}$$

Опредѣлимъ теперь моментъ инерціи обода маховика. Онъ можетъ быть разсматриваемъ, акъ вращающійся около своей оси полый цилиндръ. Поэтому.

$$J_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} R^2 + r^2) = \frac{1}{2} \frac{3689}{9{,}81} \left[\left(\frac{3{,}7}{2}\right)^2 + \left(\frac{3{,}1}{2}\right)^2 \right] = 1095 \text{ единицъ массы.}$$

Моментъ инерціи втули маховика опредѣляется по той же самой формулѣ:

$$J_2 = \frac{1}{2} \frac{261{,}7}{9{,}81} \left[\left(\frac{0{,}42}{2}\right)^2 + \left(\frac{0{,}21}{2}\right)^2 \right] = 0{,}7348 \text{ единицъ массы.}$$

Для вычисленія момента инерціи ручекъ употребимъ формулу 18. Она предполагаетъ, что ось вращенія проходитъ чрезъ центръ тяжести параллелопипеда. Вычисленную по 18 величину нужно, поэтому еще измѣнить по формулѣ 24. По формулѣ 18.

$$J = \frac{1}{12} \frac{G}{g} (h^2 + l^2) = \frac{1}{12} \frac{126}{9{,}81} (0{,}16^2 + 1{,}34^2) = 4{,}855$$

Разстояніе оси, проходящей чрезъ центръ тяжести, отъ оси вращенія маховика находится просто

$$e = \frac{1{,}34}{2} + \frac{0.420}{2} = 0{.}88 \text{ метра.}$$

Поэтому моментъ инерціи ручки относительно оси маховика

$$J_3 = J + \frac{G}{g} e^2 = 4{,}855 + \frac{126}{9{,}81} 0{,}88^2 = 14{,}801$$

Полный моментъ инерціи маховика будетъ

$$J = J_1 + J_2 + 6J_3 = 1184{,}56 \text{ единицъ массы.}$$

Теперь угловая скорость w вращенія, соотвѣтствующая числу оборотовъ $n = 40$ въ минуту, будетъ:

$$w = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2.3.14.40}{60} = 4{,}185 \text{ метра}$$

По формулѣ 17 находимъ:

$$A = \frac{w^2}{2} J = \frac{4{,}185^2}{2} . 1184{,}56 = 10373{,}19$$

Живая сила, накопленная въ маховикѣ, составляетъ $A = 10373{,}19$ килограм. метровъ.

Примѣръ. Моментъ инерціи призматической полосы. Эта полоса вращается около оси, приходящей чрезъ ея конецъ перпендикулярно къ направленію ея длины. Пусть длина полосы a и масса M, то моментъ инерціи I всей полосы относительно этой оси вращенія $J = a^2M$: 3;

бсли же вся масса была бы сосредоточена на другомъ концѣ полосы, м. и. былъ ея $I_1 = a^2M$, т. е. въ 3 раза болѣе. Если вообразимъ себѣ ручку маховика въ видѣ такой полосы, то ручкѣ при приденіи ея въ движеніе слѣдуетъ сообщить только $^1/_3$ той работы, которая была бы нужна, если бы вся ея масса была помѣщена на ободѣ маховика.

Центръ инерціи. Представимъ себѣ, что вся масса полосы сконцентрирована въ одной точкѣ и при томъ на такомъ именно разстояніи b отъ оси, что ея мом. ин. остается одинаковымъ слѣд.

$$Mb^2 = \frac{1}{3} a^2M; \text{ поэтому } b = a\sqrt{\frac{1}{3}} = 0{,}58\ a.$$

Эта точка на разстояніи b отъ оси называется центромъ инерціи полосы. Если полоса ударяетъ центромъ инерціи по препятствію, то не проявляется давленіе на ось. Если полоса служитъ ручкою молотка и на свободномъ ея концѣ находится молотокъ массы M_1, то м. и. обѣихъ частей =

$$= \frac{1}{3} a^2M + a^2M_1.$$

Центръ инерціи всего молотка имѣетъ разстояніе b отъ оси; въ этой точкѣ будетъ сконцентрирована масса $M + M_1$ съ м. и. $= (M + M_1)b^2$. По условію

$$\frac{1}{3} (M + M_1)\ a^2 = (M + M_1)\ b^2.$$

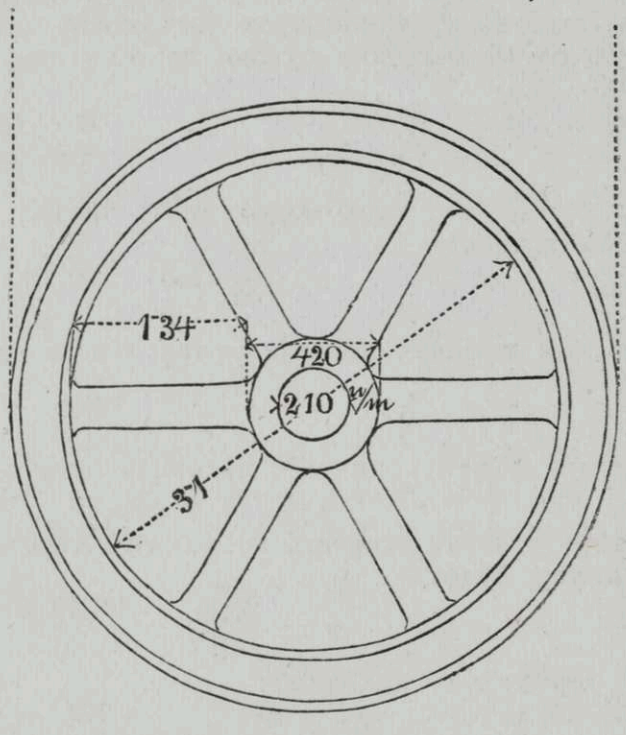
Если масса молотка въ 5 разъ болѣе массы ручки, то $b = 0{,}94\ a$, т. е. ц. и. приходится совсѣмъ близко къ молотку и отъ этого то при ударѣ молоткомъ происходитъ лишь малое давленіе на ось.

Моментъ инерціи цилиндра вращающагося около своей геометрической оси. Пусть M масса цилиндра и r его радіусъ, то моментъ инерціи

$$I = \frac{1}{2} Mr^2.$$

Если бы вся масса была сосредоточена на окружности цилиндра, то моментъ инерціи былъ бы — Mr^2, слѣд. въ 2 раза болѣе. Изъ этого слѣдуетъ, что такой цилиндръ (точильный камень, жерновъ и т. д.) требуетъ для своего вращенія только половину той работы которая нужна для сообщенія ему поступательнаго движенія со скоростію, равной скорости на окружности.

57. Сопротивленія движенію. I. Родъ сопротивленій. Тѣло, находящееся въ покоѣ или въ движеніи, не можетъ самостоятельно измѣнить своего состоянія вслѣдствіе инерціи. Но ежедневный опытъ научаетъ, что скорости находящихся въ движеніи тѣлъ уменьшаются, если перестаютъ дѣйствовать силы, производящія это движеніе, такъ что наконецъ послѣ болѣе или менѣе длиннаго времени движенія тѣла опять приходятъ въ покой. Слѣдовательно должны быть причины, внѣшнія силы, производящія это измѣненіе или уничтоженіе движенія. Эти внѣшнія, противодѣйствующія движенію, силы, которыя проявляются только до тѣхъ поръ, пока продолжается движеніе, которыя для покоющихся тѣлъ не имѣются, называютъ сопротивленіями движенію.



фиг. 125.

Эти сопротивленія суть: 1. Сопротивленіе, которое проявляется при движеніи одного тѣла на поверхности другаго, — это — сопротивленіе тренія.

2. Сопротивленіе, которое обнаруживается, если твердое тѣло двигается въ капельножидкомъ или въ газообразномъ; оно называется сопротивленіемъ среды.

II. Сопротивленіе тренія. Понятіе о треніи. Всѣ твердыя тѣла образуютъ, даже если они отполированы, не вполнѣ гладкія плоскости, но всегда снабжены на ихъ поверхности очень маленькими возвышеніями и углубленіями, которыя нельзя открыть ни осязаніемъ, ни увидѣть невооруженнымъ глазомъ. Съ нашими современными механическими средствами мы не въ состояніи сообщить твердому тѣлу вполнѣ гладкую поверхность.

Если теперь между двумя такими тѣлами существуетъ, вслѣдствіе ли ихъ собственнаго вѣса или вызывается внѣшнею силою, тѣсное соприкосновеніе, то возвышенія поверхности соприкосновенія одного тѣла попадаютъ въ соотвѣтствующія углубленія другаго и наоборотъ; ясно, что скольженіе тѣлъ будетъ возможно только тогда, когда возвышенія плоскостей

соприкосновенія будетъ проходить однѣ надъ другими какъ на наклонныхъ плоскостяхъ (что можетъ происходить, однако, только при небольшомъ нажатіи обоихъ тѣлъ) или когда эти возвышенія будутъ отогнуты или сломаны, предполагая большія силы, производящія движеніе.

Поэтому если тѣло должно скользить на поверхности другаго, то необходима нѣкоторая сила, чтобъ произвести движеніе, или (если тѣло уже находится въ движеніи и если оно должно быть сохранено) чтобъ преодолѣвать постоянное, движенію всегда противоположно дѣйствующее сопротивленіе, зависящее не только отъ степени гладкости поверхностей, но и отъ матеріальнаго свойства тѣла. Это сопротивленіе называется сопротивленіемъ отъ тренія и такъ какъ оно обнаруживается не только при началѣ, но и въ каждый моментъ движенія, то видимъ, что не только необходима сила, чтобъ начать движеніе отъ состоянія покоя, но и чтобъ поддержать уже имѣющееся движеніе.

То сопротивленіе, которое противится движенію тѣла на поверхности другаго при переходѣ изъ состоянія покоя въ состояніе движенія, называется треніемъ покоя; а то, которое противодѣйствуетъ во время установившагося движенія,— треніемъ во время движенія.

Различаютъ два рода тренія, именно треніе скользящее и треніе катящееся. Первое проявляется тогда, если тѣло будетъ двигаться по другому такъ, что всѣ его точки описываютъ параллельныя линіи, слѣдовательно движеніе происходитъ всегда на одной и той же плоскости двигающагося тѣла. Катящееся треніе напротивъ является при поступательномъ движеніи одного тѣла, вращающагося около своей геометрической оси, по другому тѣлу.

Видоизмѣненіе скользящаго тренія есть треніе вращающееся или треніе шиповъ, которое наступаетъ тогда, когда одно тѣло, давящее на поверхность другаго, вращается или же качается около своей геометрической оси, не имѣя поступательнаго движенія въ пространствѣ.

58. Скользящее треніе. Законы скользящаго тренія, суть слѣдующіе:

1. Сопротивленіе отъ тренія зависитъ отъ свойства трущихся тѣлъ и отъ состоянія ихъ поверхностей соприкосновенія; оно тѣмъ менѣе, чемъ тверже и глаже трущіяся поверхности.

Опыты указываютъ напр., что болѣе твердые металлы даютъ меньшее треніе, чѣмъ мягкіе при движеніи одинъ по другому. При болѣе твердыхъ металлахъ, которые двигаются по болѣе мягкимъ, треніе меньше, чѣмъ въ обратныхъ случаяхъ. Масло и влажность увеличиваютъ треніе деревьевъ, тогда какъ мыло, сало, графитъ уменьшаютъ его; чрезъ смазываніе трущихся поверхностей металловъ масломъ, жиромъ и проч. треніе уменьшается.

2. Сопротивленіе тренія при началѣ движенія, послѣ длиннаго времени покоя, всегда болѣе, чѣмъ во время движенія.

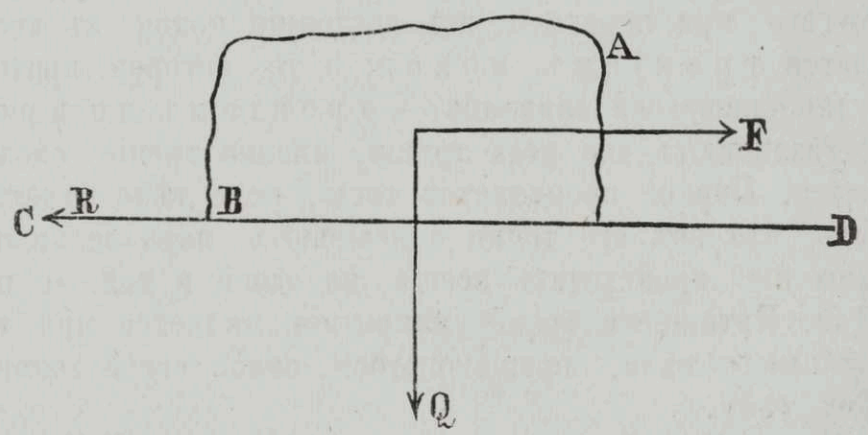
3. Сопротивленіе тренія не зависитъ отъ величины соприкасающихся поверхностей. Но тѣла тѣмъ скорѣе изнашиваются, портятся, чѣмъ менѣе, при одинакихъ прочихъ обстоятельствахъ, величина трущейся поверхности. Та часть нормальнаго давленія, которая приходится на единицу поверхности, напр., на 1 кв. сантим. называется удѣльнымъ давленіемъ. Теперь, если нормальное давленіе равномѣрно распредѣлено по площади, въ 50 кв. сант., то удѣльное давленіе составляетъ 1:50 нормальнаго давленія; а для поверхности, напр. въ 10 кв. сантим. удѣльное давленіе было бы въ 5

разъ болѣе. Въ обоихъ случаяхъ величина тренія одинаковая, но во второмъ случаѣ поверхность гораздо скорѣе изнашивается, нежели въ первомъ *).

4. Скорость двигающагося тѣла не оказываетъ замѣтнаго вліянія на сопротивленіе тренія, если только она не настолько велика, что причиняетъ значительное нагрѣваніе или изнашиваніе.

5. Сопротивленіе тренія, при сдѣланныхъ выше предположеніяхъ, пропорціонально нормальному давленію между трущимися площадями. Отсюда дается простое правило для опредѣленія трущейся поверхности, которое однако только тогда примѣнимо, если поверхности соприкосновенія обладаютъ извѣстной степенью гладкости.

II. Величина сопротивленія тренія. Коэффиціентъ тренія. Если тѣло A вѣсомъ Q должно быть подвигаемо на горизонтальной площадкѣ CD, то требуется нѣкоторая сила F, которая должна предолѣть сопротивленіе отъ тренія, дабы поддержать постоянною скорость движенія. Сопротивленіе тренія R можно всегда разсматривать какъ силу, дѣйствующую противоположно направленію движенія и приложенную въ плоскости прикосновенія обѣихъ тѣлъ. Какъ скоро $F = R$, то скорость движенія остается неизмѣняемою, предполагая, что никакая другая сила не дѣйствуетъ на тѣло.



фиг. 126.

По 5 пункту предъидущаго параграфа сопротивленіе тренія пропорціонально нормальному давленію. Если же это послѣднее есть только (фиг. 14) собственный вѣсъ тѣла Q, то можно написать

$$\frac{R}{Q} = f \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (31)$$

при чемъ f обозначаетъ число, выражающее упомянутую пропорціональность, имѣющее для разныхъ тѣлъ разную величину опредѣляемую изъ опытовъ. Это число называется коэффиціентомъ тренія и всегда имѣетъ величину меньшую единицы. Поэтому

$$\text{коэффиціентъ тренія} = \frac{\text{сопротивленіе тренія}}{\text{нормальное давленіе}}$$

а такъ какъ $R = fQ$, то

сопротивленіе тренія = коэффиціенту тренія $\times$ нормальное давленіе (32).

*) По опытамъ Ренни.

Предѣльныя величины коэффиціентовъ тренія для тѣлъ съ гладкими поверхностями соприкосновенія.

I. Безъ употребленія смазки.

Названіе.	Наименьшая величина f.	Наибольшая величина f.	Названіе.	Наименьшая величина f.	Наибольшая величина f.
Металлъ по металлу.	0,10	0,30	Металлъ по камню .	0,25	0,50
Металлъ по дереву .	0,10	0,60	Дерево по камню. .	0,30	0,65
Дерево по дереву. .	0,10	0,70	Камень по камню. .	0,40	0,75
Кожа по металлу. .	0,25	0,60	Кирпичь по камню .	0,60	0,75
Кожа по дереву . .	0,25	0,70	Ледъ по льду. . . .	0,018	0,028
Веревка по дереву .	0,40	0,80	Сталь по льду . . .	0,014	0,027

II. При употребленіи соотвѣтственной смазки.

Названіе.	Наименьшая величина f.	Наибольшая величина f.	Родъ смазки.
Металлъ по металлу . . .	0,09	0,10	масло, сало.
Металлъ по дереву	0,02	0,10	вода, масло, графитъ.
Дерево по дереву.	0,033	0,10	сало, мыло.
Кожа по металлу.	0,12	0,25	масло, сало.

Если, напр., по гладкой горизонтальной деревянной дорогѣ должно передвигать взадъ и впередъ металлическій кусокъ въ 500 килогр. вѣсомъ, то для этого потребна горизонтальная двигающая сила

$$R = f \cdot Q$$

гдѣ для коэффиціента тренія f слѣдуетъ взять по предъидущей таблицѣ среднюю величину $f = 0{,}35$

$$R = 0{,}35 \cdot 500 = 175 \text{ килограм.}$$

Правило 1. Умножь число изъ таблицы на давленіе, претерпѣваемое всею трущеюся поверхностію; произведеніе будетъ выражать величину тренія.

Примѣръ. Если два трущіяся тѣла давятъ одно на другое съ усиліемъ 100 килогр. и треніе равно 10 килогр., то коэффиціентъ тренія

$$f = \frac{10}{100} = \frac{1}{10}$$

Наоборотъ если бы при одинаковомъ давленіи коэффиціентъ тренія былъ 0,2, то треніе было бы $R = 100.\ 0{,}2 = 20$ килограм.

III. Работа тренія. Работа поглощаемая треніемъ найдется, если треніе помножимъ на скорость v трущагося тѣла. Поэтому

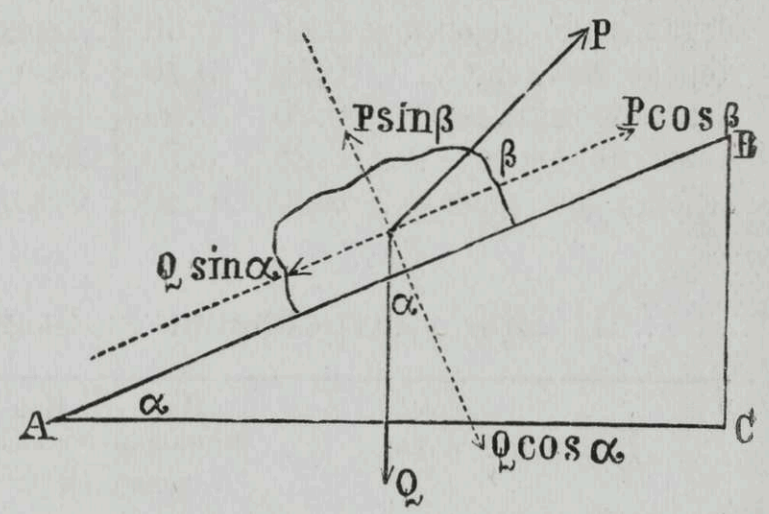
$$A = fPv$$

Правило 2. Умножь величину тренія на скорость движенія трущейся поверхности; произведеніе покажетъ работу поглощаемою треніемъ въ секунду времени.

Примѣръ. Платформа строгальной машины вѣситъ 700 килогр., а обстрагиваемая на ней вещь 300 кило; слѣдовательно обѣ 1000 кило. Эта платформа двигается со скоростію 0,1 метра. Какъ велико треніе и сколько оно поглощаетъ работы въ секунду?

Если примемъ коеффиціентъ тренія $f = 0{,}08$,
то треніе $R = 1000.\ 0{,}08 = 80$ килогр.
и поглощаемая работа $A = 80.\ 0{,}1 = 8$ килограмметровъ.

IV. Сопротивленіе отъ тренія на наклонной плоскости. Пусть AB (фиг. 15) плоскость, наклоненная къ горизонту подъ угломъ α; BC ея высота и AC основаніе; если тѣло вѣсомъ Q должно подниматься по ней вверхъ посредствомъ силы P, дѣйствующей на тѣло подъ угломъ β къ наклонной плоскости и направленіе коей проходитъ чрезъ центръ тяжести O, то прежде всего разлагаемъ P и Q на составляющія, которыя направлены параллельно къ длинѣ плоскости и перпендикулярно къ ней. Чрезъ это получаемъ составляющія $P\ cos\ \beta$ и $Q\ sin\ \alpha$, дѣйствующія параллельно къ AB, и $P\ sin\ \beta$ и $Q\ cos\ \alpha$ отвѣсно къ длинѣ плоскости. Тѣло прижимается къ плоскости усиліемъ



фиг. 127.

$$Q\ cos\ \alpha - P\ sin\ \beta$$

и чрезъ это получается сопротивленіе тренія R, которое, дѣйствуя противоположно движенію, должно быть разсматриваемо какъ сила, приложенная между тѣломъ и плоскостью и тянущая внизъ вдоль по длинѣ наклонной плоскости.

Она вычисляется на основаніи сказаннаго по

$$R = f\ (Q\ cos\ \alpha - P\ sin\ \beta).$$

Такъ какъ равновѣсіе можетъ существовать только тогда, если тянущія вверхъ и внизъ силы одна другой равны, то

$$P\ cos\ \beta = Q\ sin\ \alpha + R \text{ или}$$
$$P\ cos\ \beta = Q\ sin\ \alpha + f\ (Q\ cos\ \alpha - P\ sin\ \beta).$$

Изъ этого уравненія слѣдуетъ:

$$P\ cos\ \beta + f\ P\ sin\ \beta = Q\ sin\ \alpha + f\ \ cos$$

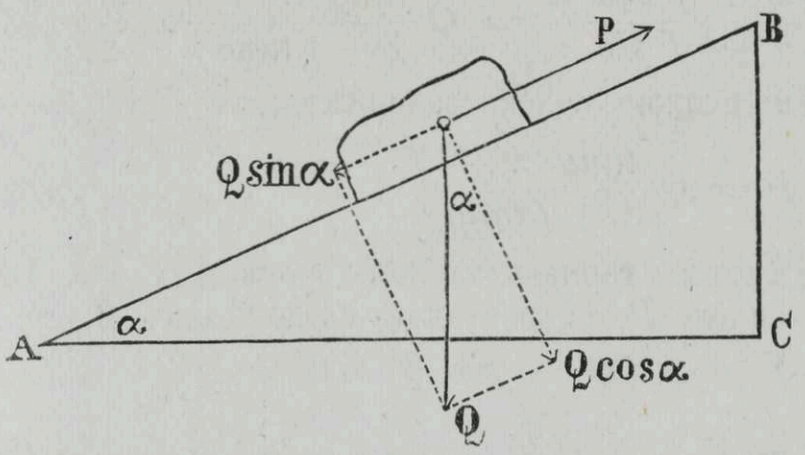
или

$$P = Q\ \frac{sin\ \alpha + f\ cos\ \alpha}{cos\ \beta + f\ sin\ \beta}. \quad \ldots\ldots\ (33)$$

Если сила P должна, напротивъ, только удерживать находящееся на наклонной плоскости тѣло отъ скольженія внизъ, то сопротивленіе тренія, дѣйствуя противоположно направленію движенія, дѣйствуетъ по направленію составляющей $P\ cos\ \beta$; и должно существовать уравненіе:

$$P\ cos\ \beta + f\ (Q\ cos\ \alpha - P\ sin\ \beta) = Q\ sin\ \alpha \text{ или}$$

$$P = Q\,\frac{\sin\alpha - f\cos\alpha}{\cos\beta - f\sin\beta} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (34)$$



фиг. 128

Это соотношеніе получится изъ предъидущаго, если въ 33 величину коеффиціента тренія вставимъ отрицательную. Если бы направленіе силы P (фиг. 128) въ обоихъ выше приведенныхъ случаяхъ было параллельно къ наклонной плоскости AB, то уголъ $\beta = O$ и изъ уравненій 33 и 34 получается

$$P = Q\,(\sin\alpha + f\cos\alpha). \quad \ldots\ldots \quad (33a)$$
$$P = Q\,(\sin\alpha - f\cos\alpha). \quad \ldots\ldots \quad (34a)$$

Если тѣло должно само собою безъ содѣйствія силы оставаться въ покоѣ на наклонной плоскости, то изъ 34а получается, такъ какъ теперь слѣдуетъ сдѣлать $P = O$:

$$Q\,(\sin\alpha - f\cos\alpha) = O \text{ или } \sin\alpha = f\cos\alpha \text{ и}$$

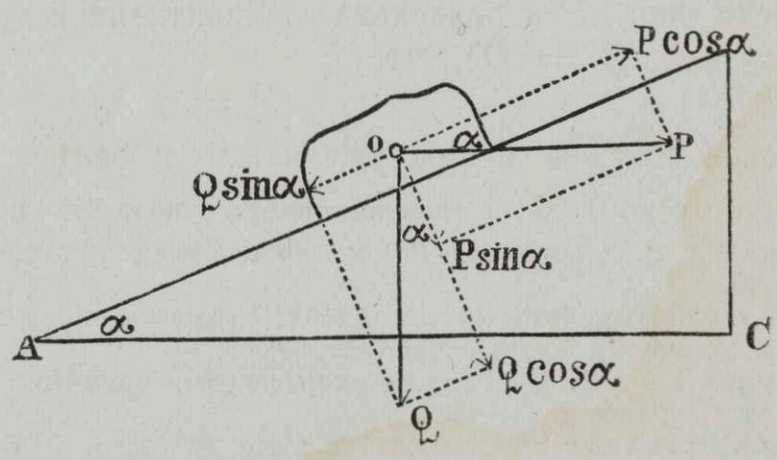
$$f = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = tg\,\alpha \quad \ldots\ldots\ldots \quad (35)$$

т. е. коэффиціентъ тренія есть также тригонометрическій тангенсъ того угла наклона плоскости къ горизонту, при которомъ находящееся на ней тѣло еще остается въ покоѣ. Величина этого угла называется углом ъ тренія и обозначается буквою ρ. Если онъ хотя немного увеличивается, то тѣло начинаетъ само собою скользить внизъ.

Коэффиціентъ тренія равенъ тригонометрическому тангенсу угла тренія, такъ что $f = tang\,\rho$.

Если сила P дѣйствуетъ параллельно основанію наклонной плоскости (фиг. 129), тогда тѣло нажимается къ ней силою $P\sin\alpha + Q\cos$ какъ это видно изъ разложенія данной силы P и собственнаго вѣса Q. Поэтому сопротивленіе отъ тренія будетъ:

$$R = f(P\sin\alpha + Q\cos\alpha)$$



фиг. 129.

а для движенія тѣла вверхъ получится уравненіе

$$P \cos \alpha = Q \sin \alpha + f (P \sin \alpha + Q \cos \alpha)$$

$$P = Q \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} = Q \frac{tang \alpha + f}{1 - f\, tang \alpha}. \quad . . (33b)$$

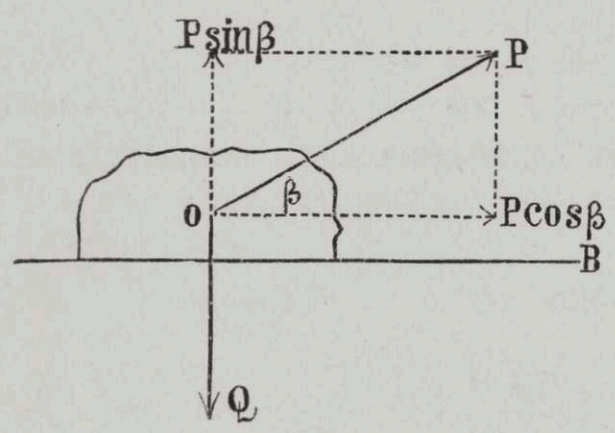
Если же напротивъ тѣло должно только задержать, то

$$P = Q \frac{tang \alpha - f}{1 + f\, tang \alpha} . . . . . (34b)$$

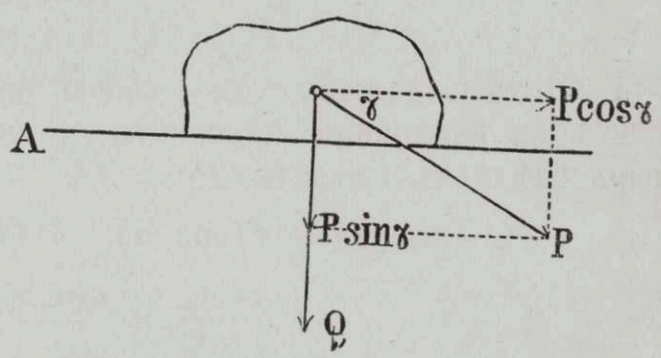
Если тѣло вѣсомъ Q лежитъ на горизонтальной дорогѣ AB (фиг. 130) и должно быть движимо силою P, наклоненною подъ угломъ β, то

$$P \cos \beta = f (Q - \sin \beta) \text{ или}$$

$$P = Q \frac{f}{\cos \beta + \sin \beta} . . . . . (36)$$



фиг. 130.



фиг. 131.

Если наконецъ сила P (фиг. 19) наклонена внизъ подъ угломъ γ, то

$$P \cos \gamma = f (Q + P \sin \gamma) \text{ и}$$

$$P = Q \frac{f}{\cos \gamma - f \sin \gamma} . . . . . (37)$$

Если сила P параллельна горизонтальной дорогѣ, то изъ 36 слѣдуетъ (такъ какъ $\beta = 0$), что

$$P = f\, Q$$

каковое соотношеніе мы уже нашли и ранѣе.

Примѣръ 1. Если тѣло начинаетъ скользить по наклонной плоскости, коей высота 0,2 м. и основаніе 0,8 м., то коэффиціентъ тренія $f = tang\, \rho = 0{,}2 : 0{,}8 = 0{,}25$.

По таблицамъ $tang\, 14^0 = 0{,}2493$; слѣдовательно $tang\, 14^0$ очень близко $= 0{,}25$; уголъ же тренія очень близко $= 14^0$.

Примѣръ 2. По Ронделе хорошо выровненные камни начинаютъ скользить при углѣ тренія $28^0 - 36^0$.

Такъ какъ $tang\, 28 = 0{,}5317$ и $tang\, 36^0 = 0{,}7265$, то соотвѣтствующіе этимъ угломъ тренія коэффиціенты тренія $f = 0{,}53$ и $0{,}73$.

Обыкновенно допускаютъ, что, коэффиціенты тренія независятъ отъ величины давленія между трущимися поверхностями. По опытамъ Ренни

носфиціенты эти измѣняются, смотря по давленію между сухими поверхкостями (см. таблицу).

Косффиціенты тренія скольженія по Ренни.

Давленіе въ клгр. на кв. стм.	Желѣзо по желѣзу.	Чугунъ по желѣзу.	Сталь по чугуну.	Латунь по чугуну.	Примѣчаніе
8,70	0,14	0,17	0,17	0,16	Поверхности
18,28	0,29	0,32	0,34	0,21	были смазаны
26,22	0,35	0,35	0,35	0,21	и потомъ вы-
36,77	0,41	0,37	0,36	0,22	терты такъ что
47,25	заѣданіе	0,38	0,40	0,23	слой смазки не
49,92	„	0,43	заѣданіе	0,23	могъ мѣшать
55,12	„	заѣданіе	„	0,23	соприкоснове-
57,95	„	„	„	0,27	нію ихъ.

V. Треніе шиповъ. Оно менѣе въ приработанномъ, чѣмъ въ новомъ подшипникѣ; менѣе въ кругломъ, чѣмъ въ плоскомъ подшипникѣ и менѣе при непрерывномъ хорошемъ подведеніи смазки, чѣмъ при обыкновенномъ уходѣ:

Кромѣ тѣхъ опытныхъ законовъ, которые были указаны для скользящаго тренія и которые примѣнимы и здѣсь, для вращающагося тренія опыты дали еще слѣдующіе:

1) Сопротивленіе тренія для тѣлъ, вращающихся около ихъ оси, менѣе чѣмъ для тѣлъ, находящихся въ движеніи поступательномъ.

2) Величина діаметра вращающагося тѣла при одинаковомъ свойствѣ трущихся поверхностей не имѣетъ вліянія на коэффиціентъ тренія.

Обозначимъ чрезъ P давленіе, съ коимъ горизонтальный шипъ A (фиг. 132) давитъ на подшипникъ; на основаніи предъидущаго сопротивленіе отъ тренія можно вычислить изъ выраженія

$$F = f_1 P \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (47)$$

гдѣ f_1 изображаетъ коэффиціентъ тренія шиповъ.

Величина этого коэффиціента f_1 менѣе величины коэффиціента, соотвѣтствующаго разсматриваемымъ матеріаламъ при скользящемъ треніи; и ее можно брать изъ слѣдующей таблицы, составленной на основаніи опытовъ.

Таблица коэффиціентовъ тренія шиповъ.

Названіе трущихся поверхностей.	Величина f_1. Наибольшая.	Величина f_1. Наименьшая.	Родъ смазки.
Шипъ и вкладышъ чугунные .	0,140	0,054	Масло, сало, свиной жиръ.
Шипъ чугунный, вкладышъ бронзовый	0,150	0,054	„ „ „
Шипъ желѣзный, вкладышъ чугунный.	0,090	0,054	„ „ „
Шипъ желѣзный, вкладышъ бронзовый.	0,100	0,040	„ „ „
Шипъ желѣзный, вкладышъ бакаутовой	0,180	0,124	„ „ „

Работа, расходуемая для преодолѣнія тренія шиповъ при n оборотовъ вала въ минуту, будетъ $A = \frac{f_1 \pi r P n}{30}$

Примѣръ 1. Какъ велика работа, теряемая отъ тренія шиповъ маховика, вѣсящаго съ осью 2400 килограммовъ и дѣлающаго 36 оборотовъ въ минуту, если толщина шиповъ 0,12 метра и коэффиціентъ тренія примемъ = 0,06?

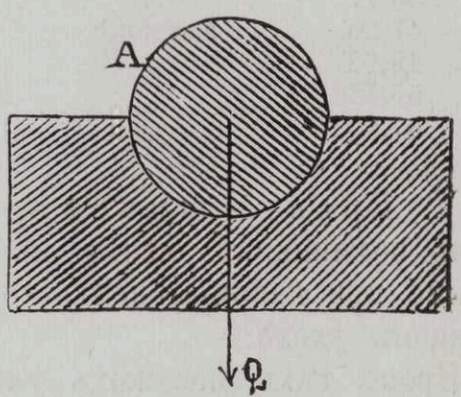
Треніе двухъ шиповъ будетъ $2400 \times 0{,}06 = 144$ килогр.

Скорость на окружности шиповъ $0{,}12 \times 3{,}14 \times {}^{36}/_{60} = 0{,}226$ метра

Потерянная работа $144 \times 0{,}226 = 32{,}5$ килогр. метр. = 0,43 лошади.

Если бы діаметръ шиповъ былъ 0,18 метра, то скорость ихъ будетъ 0,339 м., а работа на треніе 48,75 к. м. = 0,65 лошади.

Отсюда видно, какой вредъ происходитъ отъ безполезнаго утолщенія шеекъ валовъ и что въ случаѣ необходмости увеличить поверхность, для избѣжанія быстраго стиранія, всего лучше удлинять ихъ.



фиг. 132.

Примѣръ 2. Горизонтальный желѣзный валъ толщиною 0,1 метра и 500 метр. длиною дѣлаетъ 50 оборотовъ въ минуту. Водяное колесо передаетъ ему 20 лошадиныхъ силъ.

Какую работу можетъ отдать этотъ валъ на другомъ концѣ, если треніе происходитъ только отъ его вѣса?

Вѣсъ вала $61{,}2 \times 500 = 30600$ килограммовъ.

Коэффиціентъ тренія примемъ = 0,06.

Треніе отъ вѣса вала 36000 $0{,}06 = 1836$ килогр.

Скорость на окружности вала 0,1 $3{,}14.{}^{50}/_{60} = 0{,}242$ метр.

Работа, поглощаемая треніемъ въ секунду $1836 \times 0{,}242 = 444{,}3$ килограммметр. = 5,92 лош. Работа, которую валъ можетъ отдать 20 — 5,92 = 14,08 лош. силѣ.

Можно представить себѣ такую длину вала, при которой вся передаваемая валу работа будетъ поглощаться треніемъ. Эта длина въ настоящемъ случаѣ будетъ $500.20 : 5{,}92 = 1689$ метровъ, предполагая валъ повсюду равной толщины. Но вслѣдствіе необходимыхъ соединеній, увеличивающихъ вѣсъ вала, эта длина будетъ соотвѣтственно менѣе.

VI. Треніе въ зубчатыхъ колесахъ. Если Q взаимное давленіе зубцовъ по окружности, M и m числа зубцовъ колесъ, R и r ихъ радіусы въ метрахъ, α углъ между осями конич. колесъ, f коэф. тренія, t шагъ, F сила въ килограм. на окружностн колесъ, преодолѣвающая треніе зубцовъ и e работа въ килогр. метр., необходимая для преодолѣнія тренія зубцовъ, n число оборстовъ большаго колеса въ минуту, то приблизительно:

а) для цилиндр. колесъ съ внѣшнимъ зацѣпленіемъ

$$F = fQ\pi \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{m}\right) = \frac{1}{2} ft \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$$

$$e = 0{,}1047 n R f Q \pi \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{m}\right)$$

для колесъ съ внутреннимъ зацѣпленіемъ

$$F = fQ\pi \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{M}\right) = \frac{1}{2} ft \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$$

$$e = 0{,}1047 n R f Q \pi \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{M}\right)$$

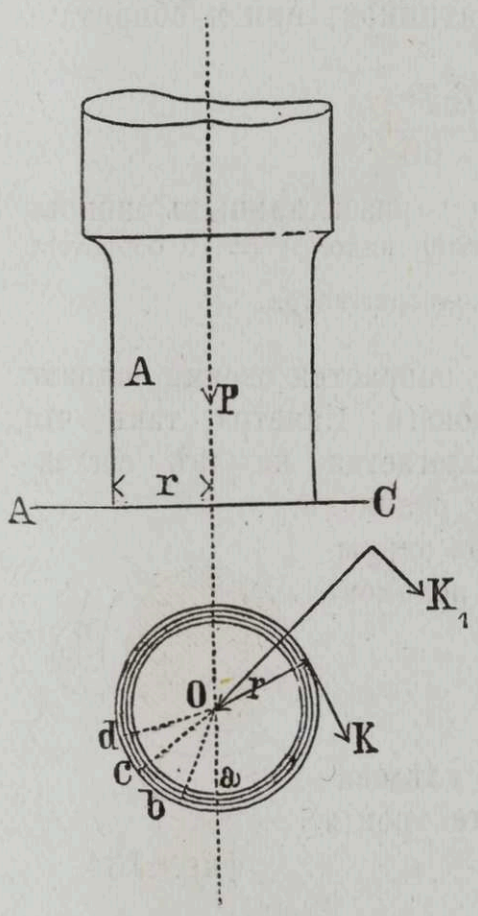
b) для коническихъ колесъ $F = fQ\pi \sqrt{\frac{1}{m_2} + \frac{1}{M_2} + \frac{2}{Mm}} \cos\alpha$

$$e = 0{,}1047 nRfQ\pi \sqrt{\frac{1}{m_2} + \frac{1}{M_2} + \frac{2}{Mm}} \cos\alpha.$$

Примѣръ. При $f = 0{,}12$ и $t = 5$ ст., при $r = R = 20$ ст. отношеніе между потерей работы и передаваемой работой $= {}^1/_2 . 5 . 0{,}12\ ({}^1/_{20} + {}^1/_{20}) = 0{,}03$. Въ практикѣ обыкновенно считаютъ потерю работы отъ тренія зубцовъ не выше 5% передаваемой работы.

VII. Треніе цилиндра на своемъ основаніи или треніе пятниковъ. Если цилиндрическое тѣло (пята вертикальнаго вала) вращается около своей геометрической оси и при этомъ давятъ своимъ основаніемъ съ опредѣленнымъ усиліемъ P на подкладку Al (фиг. 20), которая стоитъ перпендикулярно къ его оси, то въ плоскости соприкосновенія является треніе; величину сопротивленія отъ тренія можно вычислить слѣдующимъ образомъ:

Если мы раздѣлимъ основаніе тѣла A радіусами aO, bO, cO, dO на n равныхъ, но оченъ узкихъ секторовъ, то на каждомъ изъ нихъ получимъ давленіе $\frac{P}{n}$; а такъ какъ происходящее отъ этого давленія



фиг. 133.

треніе для всѣхъ точекъ этихъ секторовъ отъ центра O до окружности можно разсматривать какъ равномѣрно распредѣленныя на всю площадь параллельныя силы, дѣйствующія перпендикулярно къ соотвѣтствующимъ радіусамъ, то центры тяжести этихъ сектообразныхъ площадей слѣдуетъ разсматривать какъ центръ этихъ параллельныхъ силъ, т. е. какъ точку приложенія ихъ равнодѣйствующихъ. Предполагая всѣ секторы очень узкими, можно разсматривать очень короткія дуги ab, bc, cd какъ прямыя линіи, а самые секторы какъ треугольники. Но такъ какъ центръ тяжести треугольника находится отъ вершины его на ${}^2/_3$ высоты, то если радіусъ основанія обозначимъ чрезъ r, то ${}^2/_3$ ч. будетъ плечо равнодѣйствующихъ, соотвѣтствующихъ отдѣльнымъ величинамъ тренія на секторахъ; а r плечо силы K потребной для преодолѣнія полнаго сопротивленія отъ тренія; мы эту силу будемъ представлять дѣйствующею по касательной къ окружности основанія. Обозначимъ чрезъ f коэффиціентъ тренія; тогда величина тренія на одномъ секторѣ будетъ

$$f\frac{P}{n}$$

а статическій моментъ этого сопротивленія тренія

$$= \frac{2}{3} r \cdot f \cdot \frac{P}{n}$$

Статическій моментъ сопротивленій тренія всѣхъ секторовъ

$$= n \frac{2}{3} r \cdot f \cdot \frac{P}{n} = \frac{2}{3} rfP$$

тогда какъ статическій моментъ силы K, преодолѣвающей все это треніе $= K \cdot r$. Для равновѣсія должно быть

$$Kr = \frac{2}{3} rfP.$$

Сопротивленіе тренія, отнесенное къ окружности, должно быть

$$K = \frac{2}{3} fP. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (38)$$

Если бы сила K_1 дѣйствовала не на окружности основанія радіуса r, но на рычагъ длиною $OD = R$, то получили бы

$$K_1 R = \frac{2}{3} fPr$$

а сопротивленіе тренія, отнесенное къ точкѣ D этого рычага, было бы

$$K_1 = \frac{2}{3} fP \frac{r}{R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (39)$$

Работа, расходуемая на треніе сплошныхъ пятниковъ при n оборотахъ вала въ минуту:

$$A = \frac{2}{3} \frac{f\pi rPn}{30} = 4{,}19 \frac{frP}{60}.$$

т. е. составляетъ двѣ трети работы тренія для горизонтальныхъ шиповъ

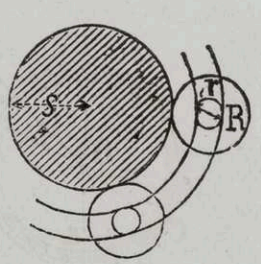
Примѣръ. Пусть для пятника $f = 0{,}07$; $P = 800$ кило; $n = 10$ оборотовъ $r = 0{,}10$ Тогда $A = \frac{4{,}19.0{,}10.0{,}07.8000.10}{60} = 23{,}45$ килограмметра.

VIII. Фрикціонные ролики. Валъ A опирается своими шипами на два цилиндрическіе ролика B и C одинаковаго діаметра, такъ что давленіе P, производимое валомъ на ролики, разлагается на двѣ составляющія силы N и N, направленныя къ осямъ роликовъ.

Треніе шиповъ роликовъ въ ихъ подшипникахъ, на окружности шиповъ составляетъ $2Nf$ и на окружности роликовъ

$$2Nf \frac{d}{D}$$

если d и D діаметры шиповъ и роликовъ.



фиг. 134.

Если v скорость на окружности роликовъ, а слѣдовательно и на окружности шиповъ вала, то работа тренія для обоихъ шиповъ

$$= 2Nf \frac{d}{D} v$$

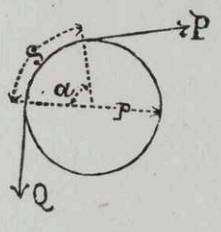
Если бы шипы вала вращались въ подшипникѣ, то работа тренія шиповъ была бы

$$= Pfv$$

Поэтому отношеніе обѣихъ работъ $= 2 \frac{N}{P} \frac{d}{D}$

Примѣръ. Пусть $N : P = 0{,}6$; $d : D = 0{,}15$; тогда отношеніе работъ $=$ $= 0{,}18$. Поэтому работа, затрачиваемая на преодолѣніе тренія, при фрикціонныхъ роликахъ понижается со 100 на 18.

IX. Треніе веревки, обвитой кругомъ неподвижнаго цилиндра. Если грузъ Q поднимается помощію вполнѣ гибкой веревки, обвитой кругомъ неподвижнаго цилиндра, то отъ скольженія ея по поверхности цилиндра происходитъ треніе, сила P нужная для подниманія груза и для преодолѣнія тренія $P = Qef^{\alpha}$, гдѣ e основаніе натуральныхъ логариѳмовъ ($e = 2{,}71828$); f коэффиціентъ тренія и α обернутая канатомъ дуга, измѣряется на окружности радіуса $= 1$. Если бы радіусъ неподвижнаго цилиндра былъ r и длина дуги, на которой цилиндръ соприкасается съ канатомъ, была s, то $r\alpha = s$ или, если канатъ обернутъ на цилиндрѣ n разъ, $s = n2r\pi$ и $\alpha = \frac{s}{r} = n2\pi$; сила P для подниманія груза $P = e^{f2n\pi}$. Если же сила P только должна противодѣйствовать опусканію груза, то треніе каната на окружности цилиндра дѣйствуетъ по направленію силы P, такъ что коэффиціентъ тренія нужно взять съ минусомъ и для опусканія груза Q имѣемъ $P = Qe^{-f2n\pi} = \frac{Q}{e^{f2n\pi}}$. Отсюда видно, что треніе каната на неподвижномъ цилиндрѣ не зависитъ отъ діаметра цилиндра, но что число обвиваній каната имѣетъ значительное вліяніе. Если примемъ коэффиціентъ тренія веревки по дубу $f = 0{,}33$, то найдемъ для



фиг. 135.

$n = \frac{1}{4}$ оборота, $P = 1{,}69Q$ $\left(\text{при } \alpha = \frac{\pi}{2}\right)$

$n = \frac{1}{2}$ „ $P = 2{,}85Q$ (при $\alpha = \pi$)

$n = 1$ „ $P = 8{,}12Q$ (при $\alpha = 2\pi$)

$n = 2$ „ $P = 65{,}94Q$ (при $\alpha = 4\pi$)

$n = 4$ „ $P = 4348Q$ (при $\alpha = 8\pi$)

Отсюда видно, что нужна весьма большая сила для движенія по поверхности цилиндра каната, обернутаго нѣсколько разъ около этого цилиндра, и наоборотъ малой силы достаточно для уравновѣшенія большаго груза чрезъ многократное обвиваніе. Вслѣдствіе этого въ практической жизни мы встрѣчаемъ частое примѣненіе тренія каната, напр. въ фракціонныхъ воротахъ и проч.

X. Жесткость канатовъ и цѣпей. 1. Если цѣпь или канатъ, къ коему подвѣшенъ грузъ Q, долженъ проходить по вращающемуся барабану или блоку, то отъ тренія между звѣньями цѣпи или отъ жесткости каната является сопротивленіе огибанію, такъ что при навиваніи онъ нѣсколько отходитъ отъ окружности цилиндра, вслѣдствіе чего увеличивается плечо груза, такъ что $Pr = (r + \xi)Q$.

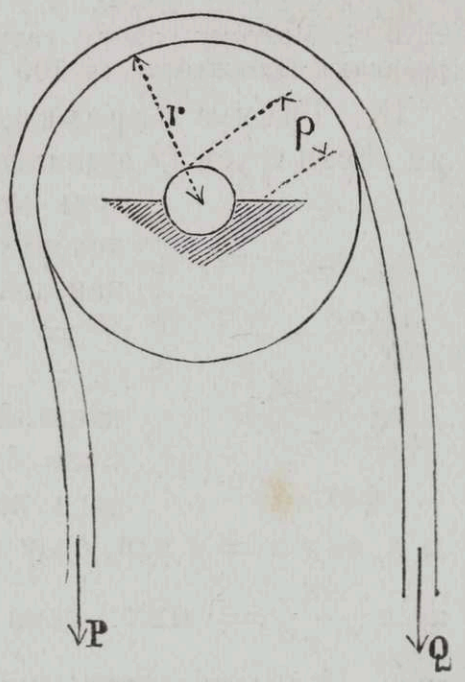
Если δ діаметръ каната или желѣза цѣпи въ миллиметрахъ и r радіусъ барабана или блока въ миллиметрахъ, то имѣемъ

для новаго каната $P = \left(1 + 0{,}026\ \frac{\delta^2}{r}\right)Q$

для цѣпи $P = \left(1 + 0{,}15\ \frac{\delta}{r}\right)Q$.

Для подержанаго каната сопротивленіе отъ жесткости вдвое менѣе, для осмоленаго каната на одну шестую и для мокраго на одну двѣнадцатую болѣе, чемъ для новаго каната.

Правило. Умножь квадратъ діаметра каната въ миллиметрахъ на поднимаемый грузъ и еще на число 0,026 (или на 0,013); полученное произведеніе раздѣли на радіусъ барабана или блока въ миллиметрахъ и частное выразитъ потерю силы отъ жесткости каната.



фиг. 135.

Примѣръ 1. Пусть $R = 150$ миллиметровъ, $\delta = 20$ миллиметровъ, то

$$P = Q\left(1 + 0{,}013\,\frac{20^2}{150}\right) = 1{,}034Q.$$

Если нужно поднять грузъ 100 килогр., то для этого нужна сила $P = 100.1{,}034 = 103{,}4$ килогр. Жесткость каната увеличиваетъ потребность силы на 3,4%.

Примѣръ 2. Для цѣпи, коей діаметръ цѣпнаго желѣза $\delta = 1$ сантиметръ и если $R = 15$ сантиметр.

$$P = Q\left(1 + 0{,}15\,\frac{1}{15}\right) = 1{,}01Q.$$

Сопротивленіе отъ негибкости цѣпи увеличиваетъ силу P на 1%.

2. Для проволочнаго каната толщиною 1,75 сантиметръ, состоящаго изъ 16 проволокъ толщиною 0,327 сантиметровъ и вѣсящаго 1,02 килограмма на погонный метръ, Вейсбахъ нашелъ сопротивленіе отъ жесткости:

$$S = 0{,}49 + 0{,}238\,\frac{Q}{r}; \text{ или } P = \left(1{,}49 + \frac{0{,}238}{r}\right)Q.$$

Барабанъ для проволочнаго каната долженъ имѣть діаметръ, равный по крайней мѣрѣ 40 наружнымъ діаметрамъ каната.

3. Для кожаныхъ ремней $S = \frac{1}{6}\,Ebh\,\frac{h^2}{D^2}$, гдѣ b ширина, h толщина ремня и E модуль упругости кожи, который для новыхъ ремней можно принимать $= 600$, для сильно употреблявшихся $= 1200$ килограммъ на квадр. сентиметр.

Примѣръ. Пусть $E = 1000$ килогр., $b = 10$ сант., $h = 0{,}5$ сантим., $D = 20$ сантим.; то $S = \frac{1}{6} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{0{,}25}{400} = 0{,}521$ килогр. Если этотъ ремень натянутъ съ силою 15 килогр. на кв. сантим., то передаваемая сила $= 10 \cdot 0{,}5 \cdot 15 = 75$ килограм. Поэтому отношеніе между жесткостію и передаваемою силою $0{,}521 : 75 = 0{,}007$.

XI. Коэффиціентъ сопротивленія для канатныхъ и цѣпныхъ блоковъ.

Въ канатныхъ и цѣпныхъ блокахъ, кромѣ уже разсмотрѣннаго сопротивленія отъ жесткости канатовъ и цѣпей, происходитъ еще треніе шиповъ, которое также слѣдуетъ принимать въ соображеніе.

Шипы блока надавливаются на вкладыши подшипниковъ давленіемъ равнымъ $(P + Q)$; поэтому сопротивленіе отъ тренія по § V будетъ $f_1(P + Q)$, гдѣ f_1 коэффиціентъ тренія шиповъ; оно является какъ

сила, дѣйствующая противоположно происходящему движенію. Поэтому относительно оси вращенія должно существовать уравненіе

$$Pr = Qr + f_1 (P + Q) \frac{\rho}{2}$$

гдѣ ρ діаметръ шиповъ; или

$$P\left(r - f_1 \frac{\rho}{2}\right) = Q\left(r + f_1 \frac{\rho}{2}\right).$$

Откуда

$$P = Q \frac{1 + f_1 \frac{\rho}{2r}}{1 - f_1 \frac{\rho}{2r}} = Q\left(1 + f_1 \frac{\rho}{r}\right).$$

Членъ $f_1 \frac{\rho}{r} Q$ представляетъ сопротивленіе отъ тренія шиповъ. Но сюда нужно еще прибавить сопротивленіе отъ жесткости; поэтому получимъ для канатнаго блока

$$P = Q\left(1 + 0{,}013 \frac{\delta^2}{r} + f_1 \frac{\rho}{r}\right) \ldots\ldots \quad (52)$$

для цѣпнаго блока

$$P = Q\left(1 + 0{,}15 \frac{d}{r} + f_1 \frac{\rho}{r}\right) \ldots\ldots \quad (53)$$

Обѣ формулы выражаются кратко чрезъ

$$P = \mu Q \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (54)$$

гдѣ μ представляетъ коэффиціентъ, который принимаетъ во вниманіе сопротивленіе отъ жесткости каната или цѣпи и треніе шиповъ и который называется коэффиціентомъ сопротивленія для канатныхъ или цѣпныхъ блоковъ.

Поэтому для канатнаго блока

$$\mu = 1 + 0{,}013 \frac{\delta^2}{r} + f_1 \frac{\rho}{r} \ldots\ldots \quad (55)$$

для цѣпнаго блока

$$\mu = 1 + 0{,}15 \frac{d}{r} + f_1 \frac{\rho}{r} \ldots\ldots \quad (56)$$

Если діаметръ шиповъ блока $\rho = 30$ мм. (для прежде данныхъ примѣровъ) и $f_1 = 0{,}1$, то коэффиціентъ сопротивленія

для канатнаго блока $\mu = 1 + 0{,}013 \frac{400}{150} + 0{,}1 \frac{30}{150} = 1{,}054$

для цѣпнаго блока $\mu = 1 + 0{,}15 \frac{10}{150} + 0{,}1 \frac{30}{150} = 1{,}03$

Итакъ названныя сопротивленія увеличиваютъ силу P на 5% или на 3 процента поднимаемаго груза Q.

59. Катящееся треніе. I. Его законы. Оно происходитъ тогда, если цилиндрическое тѣло катится по неупругой плоскости, при чемъ либо оно само дѣлается нѣсколько плоскимъ въ мѣстѣ соприкосновенія съ плоскостью, либо оно вдавливается въ плоскость, или же происходитъ то и другое одновременно, а вслѣдствіе этого точка опоры подается впередъ въ направленіи движенія.

Изъ того небольшаго числа опытовъ, которые были сдѣланы для опредѣленія катящагося тренія, можно заключить:

1) Что сопротивленіе, являющееся при катящемся треніи цилиндрическихъ тѣлъ по горизонтальной плоскости, почти прямо пропорціонально давленію между тѣлами и плоскостью и обратно пропоціонально ихъ радіусу.

2) Что смазка поверхностей не производитъ замѣтнаго уменьшенія этого сопротивленія.

3) Что катящееся треніе между гладкими тѣлами гораздо менѣе, чѣмъ скользящее или вращающееся между тѣми же самыми тѣлами.

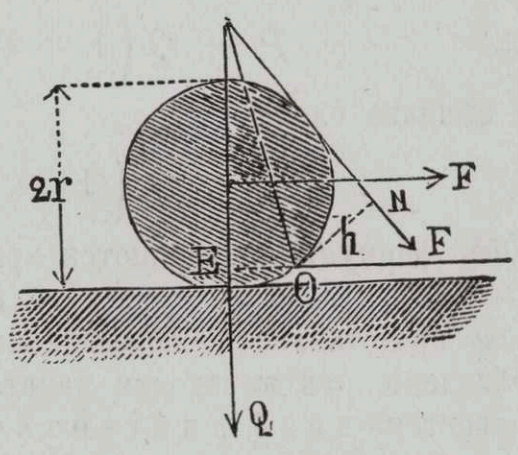
II. Величина сопротивленія катящагося тренія.

Обозначимъ чрезъ F величину сопротивленія катящагося тренія для цилиндра радіусомъ r и вѣсомъ Q, то для равновѣсія относительно перемѣстившейся точки опоры O

$$Q.OE = F.ON, \text{ пусть } OE = \mu \text{ и } ON = h; \text{ тогда}$$

$$F = \mu \frac{Q}{h}$$

Здѣсь μ обозначаетъ коэффиціентъ катящагося тренія; числовыя величины его однако же и до настоящаго времени еще не опредѣлены въ точности. Впрочемъ коэффиціентъ μ катящагося тренія не есть отвлеченное число, а линія; а потому его должно выражать въ тѣхъ же мѣрахъ какъ и радіусъ r катка.



фиг. 136.

Далѣе, h есть плечо силы; если сила плоскости параллельна и проходитъ черезъ центръ катка, $h = r$; а если сила касательна къ катку, $h = 2\ r$.

Коэффиціентъ μ можно принимать (по Куломбу)

1) Для чугунныхъ колесъ по желѣзнымъ рельсамъ
$$\mu = 0{,}000467 \text{ метр.}$$
2) Для желѣзныхъ колесъ по обыкновеннымъ рельсамъ
$$\mu = 0{,}000500 \text{ (по Вуду)}$$
3) Для катковъ изъ рябины по дубовой доскѣ
$$\mu = 0{,}000479 \text{ метра}$$
4) Для катковъ изъ илима по дубу
$$\mu = 0{,}000810 \text{ метра}$$
5) Для известняка по известняку
$$\mu = 0{,}00154 \text{ метра}$$

Отсюда видно, что сопротивленіе отъ катящагося тренія значительно менѣе, чѣмъ сопротивленіе отъ тренія скользящаго.

Если, напримѣръ, давленіе чугуннаго колеса на рельсы $Q = 1000$ килогр., то сопротивленіе катящагося тренія при радіусѣ колеса $r = 0{,}5$ метра будетъ.

$$F = 0{,}000467 \frac{1000}{0{,}5} = 0{,}934 \text{ килогр.}$$

т. е. не достигаетъ даже одного килограмма.

Уже отсюда прямо видно, какую чрезвычайную пользу мы извлекаемъ изъ катящагося тренія на желѣзныхъ дорогахъ. При движеніи вагона по горизонтальному пути является однако же не только катящееся, но и вращающееся треніе шиновъ въ подшипникахъ. На основаніи предъидущихъ главъ не трудно вычислить силу для движенія вагона.

Примѣръ 1. Желѣзнодорожный вагонъ имѣетъ колеса радіусомъ въ 50 ст. радіусъ осей = 4 ст. и вѣсъ вагона = P. Часть этого вѣса = $0{,}88P$ лежитъ на осяхъ и вызываетъ треніе шиповъ. Какъ относится катящееся треніе къ тренію шиповъ?

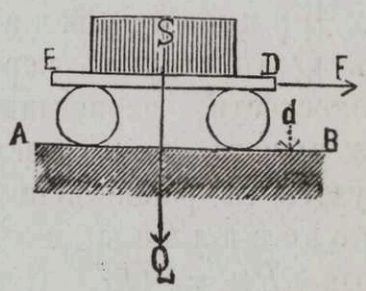
Сопротивленіе отъ катящагося тренія = $0{,}05\,\frac{P}{50} = 0{,}001\ P$. Коэф. тренія для осей примемъ = 0,045. Треніе осей на ихъ окружности = $0{,}88\ P\ .\ 0{,}045 = 0{,}0396\ P$. Треніе осей, отнесенное къ окружности колеса = $0{,}0396\ P \cdot \frac{4}{50} = 0{,}003\ P$. Сумма обоихъ сопротивленій = $0{,}001\ P + 0{,}003\ P = 0{,}004\ P$. Отсюда видно, что треніе осей въ 3 раза болѣе катящагося тренія и общее сопротивленіе = $\frac{1}{250}$ вѣса вагона.

Примѣръ 2. Движеніе катающейся балки. Нагрузка ворота = 15000, его вѣсъ 5000, вѣсъ балокъ 5000; всего $Q = 25000$. Въ самомъ невыгодномъ положеніи, когда воротъ стоитъ возлѣ одного изъ концовъ, на шипы обоихъ концовъ приходится грузъ $Q = 10000$. Діаметръ шипа $d = 0{,}12\sqrt{5000} = 8{,}5$ ст. Діаметръ колеса $6d = 52$ ст. Необходимая горизонт. сила на колесо на нагруженной сторонѣ = $= P_1 \frac{fr + \mu}{R} Q_1 = \frac{0{,}07\ .\ 4{,}25 + 0{,}05}{26}\ 10000 = 134$ клгр. Для двухъ колесъ 268. На менѣе нагруженной сторонѣ для 1 колеса $P_2 = \frac{0{,}07\ .\ 4{,}25 + 0{,}05.}{2}\ 3500 = 48$; для двухъ 96. Вся сила $P = 96 + 268 = 364$ клгр. Моментъ тренія. $M = 364\ .\ 26 = 9585$ клмт. Сюда еще прибавится 15% потери отъ тренія при употребленіи 3 паръ колесъ = 11276 клмт. Моментъ на кривошипѣ = 1125 клмт.

III. Если грузъ Q передвигается на каткахъ по горизонт. направленію, то необходимая для этого гориз. сила для преодолѣнія тренія 2-го рода:

$$F = (\mu + \mu_1)\ \frac{Q}{2r.}$$

гдѣ μ и μ_1 коеф. тренія между катками и опорой и между катками и платформой.



фиг. 137.

IV. Напротивъ если тотъ же грузъ движется горизонтально на вагонѣ и если R и r радіусы колесъ и шиповъ, μ коеф. катящагося и f_1 вращающагося тренія то

$$F = \mu\,\frac{Q}{R} + \frac{r}{R}\,f_1 Q = \frac{Q}{R}\,(\mu + rf_1).$$

60. Полезная работа. — Работа потерянная. — Полезное дѣйствіе. Къ числу силъ, которыми люди располагаютъ, какъ движителями, для производства различнаго рода работъ, главнѣйшимъ образомъ относятся: 1) сила вѣтра; 2) сила воды; 3) сила пара и 4) сила животныхъ. Но всѣ эти силы за исключеніемъ самыхъ рѣдкихъ случаевъ, м. б. съ пользою употреблены для преодолѣнія извѣстныхъ сопротивленій не иначе, какъ при посредствѣ особыхъ, нарочно для того приноровленныхъ машинъ. И такъ машины суть снаряды, принимающіе работу отъ движителей и передающіе ее надлежащимъ образомъ и съ извѣстною скоростію въ тѣ точки, гдѣ находятся преодолѣваемыя сопротивленія. Вся доставляемая машиною работа T_m раздѣляется на полезную работу T_n, т.-е. ту, выполненіе которой составляетъ назначеніе машины, и потерянную работу T_f, расходуемую на преодолѣніе вредныхъ сопротивленій, какъ-то: треніе, сотрясенія, колебательныя движенія частей, удары и пр. Чтобъ судить о качествѣ машины, надобно разсматривать отношеніе (T_n къ T_m) произведенной полезной работы къ работѣ движителя; оно

всегда менѣе единицы и называется коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія или просто полезнымъ дѣйствіемъ машины. Чѣмъ онъ болѣе, тѣмъ машина лучше; цѣль улучшеній въ машинахъ состоитъ въ приближеніи ихъ полезнаго дѣйствія къ единицѣ и вся цѣль механики состоитъ въ наивыгоднѣйшемъ пользованіи силами природы. Создать же силу нельзя, если ее нѣтъ у движителя и никакая машина ни въ состояніи увеличить количество полезной работы сверхъ предѣловъ положенныхъ самою природою вещей и для этого прежде всего необходимо уяснить себѣ законы науки, чтобъ потомъ расчетомъ провѣрять свои дѣйствія.

61. Простыя машины. Къ простымъ машинамъ принадлежатъ: рычагъ, блоки и полиспасты, наклонная плоскость и клинъ, винтъ.

I. О рычагѣ. Рычагъ есть тѣло, которое можетъ вращаться около неподвижной прямой линіи. Есть три рода рычаговъ: Первый родъ, когда сила P и грузъ Q дѣйствуютъ на концы рычага, а ось вращенія C находится гдѣ нибудь между ними; второй родъ, когда сила P и ось вращенія C находятся на концахъ рычага, а грузъ Q гдѣ нибудь между ними; третій родъ, когда ось вращенія C и грузъ Q находятся на концахъ рычага, а сила P дѣйствуетъ гдѣ нибудь между ними (Фиг. 137, 138 и 139).

1. Прямой рычагъ съ двумя силами. Пусть сила P и грузъ Q дѣйствуютъ перпендикулярно къ направленію рычага и находятся въ плоскости, перпендикулярной къ оси вращенія; далѣе пусть p и q плеча рычага, т. е. разстоянія оси вращенія отъ силы и отъ груза. Сила P будетъ въ равновѣсіи съ грузомъ Q, если они обратно пропорціональны плечамъ рычага, т. е. если $P : Q = q : p$. Отсюда $Pp = Qq$. Произведеніе силы на плечо наз. статическимъ моментомъ. Поэтому силы на рычагѣ находятся въ равновѣсіи, если ихъ статическіе моменты равны. Давленіе на ось вращенія въ рычагѣ перваго рода равна суммѣ $P + Q$ силъ; въ рычагѣ втораго рода равно разности $Q - P$ силъ и въ рычагѣ 3-го рода равно разности $P - Q$ силъ,

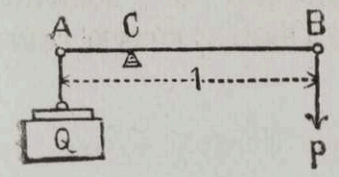
Примѣръ 1. Если плечо p въ 4 раза болѣе плеча q, то и сила P на длинномъ плечѣ будетъ только $^1/_4$ отъ Q. Если бы напротивъ сила P содержалась 3 раза въ силѣ Q, то для равновѣсія плечо q должно содержаться 3 раза въ плечѣ p. Если рычагъ вычерченъ, то берутъ малое плечо циркулемъ и смотрятъ, сколько разъ содержится оно въ большомъ плечѣ; столько же разъ сила на большомъ плечѣ содержится въ силѣ на маломъ плечѣ.

Примѣръ 2. Если грузъ $Q = 100$ килогр. и плечо рычага $q = 0{,}6$ метра, то какъ велика должна быть сила P, которая удерживаетъ его въ равновѣсіи на плечѣ въ 1,5 метра длиною?

Здѣсь: $P : 100 = 0{,}6 : 1{,}5$; слѣдов. сила $P = \frac{100 \cdot 0{,}6}{1{,}5} = 40$ килогр.

Такъ какъ $P = Q\frac{q}{p}$, то отсюда для всѣхъ трехъ родовъ рычаговъ выводится слѣдующее правило:

Правило. Умножь данный грузъ на разстояніе между точкою его приложенія и осью вращенія; произведеніе раздѣли на разстояніе между точкою приложенія силы и осью вращенія; частное будетъ сила, которую надо употребить для подъема даннаго груза.

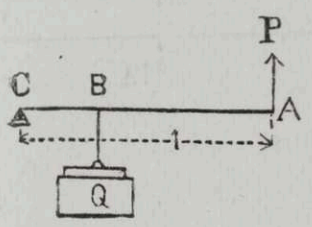


фиг. 137.

$$P : Q = AC : BC$$

$$P = \frac{Ac}{Bc} \cdot Q;\ Q = \frac{Bc}{Ac} \cdot P;$$

$$BC = \frac{Pl}{Q + P};\ AC = \frac{Ql}{Q + P}$$

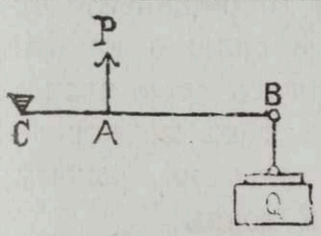


фиг. 138.

$$P : Q = BC : AC$$

$$P = \frac{BC}{AC} \cdot Q;\ Q = \frac{AC}{BC} \cdot P;$$

$$AC = \frac{Q \cdot AB}{Q - P};\ BC = \frac{P \cdot AB}{Q - P}$$



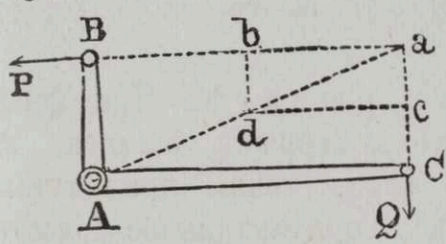
фиг. 139.

$$P : Q = BC : AC$$

$$P = \frac{Q \cdot BC}{AC};\ Q = \frac{P \cdot AC}{BC};$$

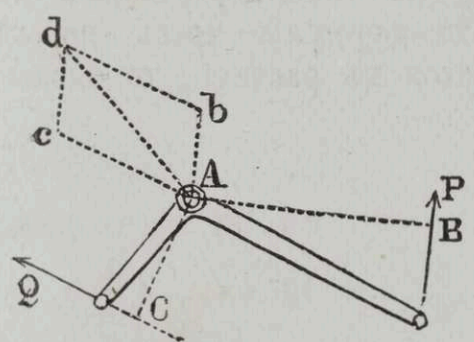
$$AC = \frac{Q \cdot AB}{P - Q};\ BC = \frac{P \cdot AB}{P - Q}$$

2) Ломаный рычагъ съ двума силами. Если силы P и Q, какъ на фиг. 140, перпендикулярны къ колѣнамъ AC и AB, то эти колѣна разсматриваются какъ плеча рычага; если же этого нѣтъ, какъ на фиг. 141, то проводятъ AB перпендикулярно къ направленію P и AC перпендикилярно къ направленію Q и эти перпендикуляры разсматриваются какъ плечи рычага; тогда для равновѣсія: $P \cdot AB = Q \cdot AC$. Давленіе на ось вращенія опредѣляется на основаніи параллелограмма силъ по одному изъ слѣдующихъ способовъ:



фиг. 140.

Фиг. 140. Продолжаемъ направленія силъ P и Q до пересѣченія ихъ въ въ a; дѣлаемъ $ab = P$ и $ac = Q$; на ab и ac построимъ параллелограммъ; діагональ ad представляетъ давленіе на ось. Направленіе этой діагонали должно проходить чрезъ ось A.



фиг. 141.

Фиг. 141. Проводимъ изъ оси вращенія Ac параллельно силѣ Q и Ab параллельно силѣ P, дѣлаемъ $Ac = Q$, $Ab = P$; заканчиваемъ параллелограммъ $abdc$; діагональ ad давленіе на ось.

3) Рычагъ при дѣйствіи многихъ силъ. Пусть на одной сторонѣ дѣйствуютъ силы Q, Q', а на другой P, P', P''; пусть ихъ плеча q, q'; p, p', p''. Равновѣсіе будетъ тогда, когда

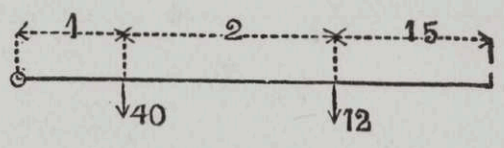
$$Qq + Q'q' = Pp + P'p' + P''p''$$

т. е. если сумма статическихъ моментовъ силъ, стремящихся вращать въ одну сторону, равна суммѣ статическихъ моментовъ силъ, дѣйствующихъ въ сторону противоположную. Изъ величинъ, входящихъ въ это уравненіе, всегда можетъ быть опредѣлена одна, если извѣстны остальныя.

Давленіе на ось получится, если всѣ силы перенесемъ по величинѣ и направленію на ось и здѣсь сложимъ въ одну равнодѣйствующую, которое и будетъ давленіе на ось.

Примѣръ. Въ рычагѣ, изображенномъ на слѣдующей фигурѣ, нужно опредѣлить силу P и давленіе на ось.

Силы	40 килогр.	12 килогр.	P
Плеча силъ	1 метръ	3 метра	4,5 метр.
Статическіе моменты	1,40	3,12	P. 4,5



фиг. 142.

Слѣдовательно для равновѣсія получимъ:

$$1 \cdot 40 + 3 \cdot 12 = 4{,}5P;\ P = \frac{40 + 36}{4{,}5} = 16{,}89 \text{ килогр.}$$

Давленіе на ось $40 + 12 - 16{,}89 = 35{,}11$ килограм.

4) Отнесеніе силъ на рычагѣ. Если передвинемъ точку приложенія силы на рычагѣ, не измѣняя направленіе силы и ея вліяніе на вращеніе, то ея статическій моментъ долженъ удержать свою величину. Если напр. плечо рычага увеличится, то сила въ томъ же отношеніи должна уменьшиться. Перенесеніе точки приложенія силы на рычагѣ въ этомъ смыслѣ называется отнесеніемъ силы къ другой точкѣ.

Примѣръ. Въ послѣднемъ примѣрѣ сила въ 12 килогр. дѣйствуетъ на плечѣ рычага въ 3 м. Эта сила должна имѣть одинаковую точку приложенія, какъ и сила 40 килогр., то слѣдов. плечо будетъ теперь 1 метръ, слѣдов. сила въ 3 раза болѣе, слѣдов. $3 \cdot 12 = 36$ килогр. Поэтому тогда $40 + 36 = 76$ килогр. на плечѣ рычага въ 1 м. будутъ удерживать въ равновѣсіи силу P.

5) Равновѣсіе на физическомъ рычагѣ. При физическомъ рычагѣ на равновѣсіе имѣетъ вліяніе вѣсъ стержня рычага. Этотъ вѣсъ есть дѣйствующая вертикально внизъ сила, точка приложенія которой находится въ центрѣ тяжести стержня. Горизонтальное разстояніе между точкою вращенія и центромъ тяжести есть плечо вѣса. И тогда сила P, уравновѣшивающая грузъ Q, должна быть

$$P = \frac{Qb + r \sin \rho\,(Q - G) \pm Gc}{a - r \sin \rho}$$

гдѣ G есть собственный вѣсъ рычага, c разстояніе его центра тяжести S отъ точки вращенія (+ или —), смотря по тому — лежитъ ли S въ b или въ a, r радіусъ шипа въ C и $tg\rho = f$. Сила P, которая устраняетъ опусканіе груза, получается изъ той же формулы чрезъ перемѣну знака при $r \sin \rho$. Если треніе не принимается въ расчетъ, то числы съ $r \sin \rho$ отбрасываются.

Примѣръ 1. Предохранительный клапанъ.

Вѣсъ клапана	9 ф. 87 зол. = 9,9062 ф.
Діаметръ клапана втулки	107 мм. $= 4\frac{1}{4}$ д.
Вѣсъ рычага	17 ф. 56 зол. = 17,5833 ф.
Разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія рычага	478 мм. $= 18\frac{13''}{16}$ мм.
Разстояніе точки опоры рычага на стержень клапана отъ оси вращенія	101 мм. = 4 дюйм.
Рабочее давленіе (сверхъ воздушнаго) по діаметру котла и по толщинѣ стѣнокъ $^3/_8$ дюйма изъ	4 фута = 48 дюймовъ

$$e = 0{,}0092\,Pr + 0{,}12$$

будетъ P=1,1541 пуд.=46,164 фунт. на квадр. дюймъ или $\frac{46,164}{16,25} = 2,84$ атмосферы.

Площадь клапана въ кв. д. = 14,1862.
Давленіе пара на клапанъ 654,891 фунтъ.

Давленіе отъ вѣса рычага на клапанъ $17,5833 \frac{478}{101} = 83,216$ фунтовъ.

Сумма давленій отъ рычага и отъ клапана $83,216 + 9,9062 = 93,1222$ ф.

Давленіе въ точкѣ опоры снизу вверхъ, которое должно уравновѣсить гирей, =
$654,891 - 93,1222 = 561,77$ фунтовъ.

Длина рычага до зазубрины 40″ отъ центра; толщины ушка $\frac{1''}{2}$; слѣдоват. плечо гири $39 \frac{3}{4}$ д. И вотъ вѣсъ гири

$$561,77 \frac{4}{39,75} = 56,55 \text{ ф.} = 1 \text{ пув. } 16 \text{ ф. } 51 \text{ з.}$$

Діаметръ шарообразной гири долженъ быть $7 \frac{3}{16}$ дюйма.

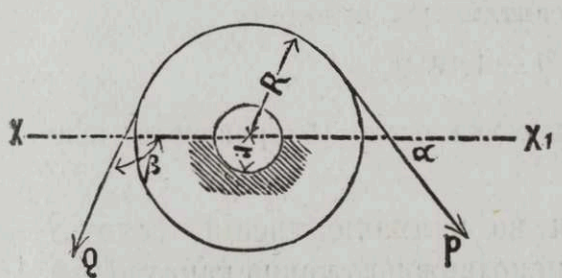
При давленіи 3 атмосф. = 691,76 фунт. на клапанъ вѣсъ гири =

$$(691,76 - 93,1222) \frac{4}{39,75} = 598,64 \frac{4}{39,75}$$

$= 60,25$ фунт. = 1 пуд. $20^1/_4$ фунтовъ, а діаметръ гири долженъ бы быть $7 \frac{5}{16}$ дюйма.

II. О блокахъ. Простой блокъ, состоящій изъ шкива на оси и находящійся неподвижно на мѣстѣ, служитъ только для перемѣны направленія силы и потому въ механическомъ смыслѣ выгоды не приноситъ, но коль-скоро тотъ же самый блокъ сдѣланъ подвижнымъ, онъ тотчасъ становится въ рядъ машинъ помощію коихъ можно, измѣняя скорость преодолѣваемаго груза, увеличивать или уменьшать напряженіе дѣйствующей силы.

а) Неподвижный блокъ (фиг. 142) можно разсматривать какъ рычагъ съ равными плечами, а потому равновѣсіе будетъ въ томъ случаѣ, когда сила P равна грузу Q. Если принимать во вниманіе еще несгибаемость веревки и осевое треніе, то сила должна быть болѣе груза; тогда уравненіе статическихъ моментовъ относительно оси вращенія, около которой только и возможно перемѣщеніе вслѣдствіе неподвижной оси, будетъ слѣдующее:



фиг. 142.

Моментъ силы P = моменту груза Q + моментъ жесткости каната + моментъ тренія шиповъ.

Если разложимъ P и Q на горизонтальныя и вертикальныя составляющія и если α и β углы направленій каната съ горизонтомъ, G вѣсъ каната, блока и оси, то давленіе на шипы

$$\sqrt{(P \sin \alpha + Q \sin \beta + G)^2 + (P \cos \alpha + Q \cos \beta)^2}.$$

Пусть R и r радіусы блока и шиповъ, ξ и f коэффиціенты жесткости веревки и тренія шиповъ, то

$$P = \frac{1}{R}\left\{(R+\xi)\,Q + r f \sqrt{(P\sin\alpha + Q\sin\beta + G)^2 + (P\cos\alpha + Q\cos\beta)^2}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Чтобъ опредѣлить P изъ этой формулы, сначала пренебрегаемъ треніемъ шиповъ, т. е. отбрасываемъ весь корень и вычисляемъ приблизительную величину P по формулѣ $P = (R+\xi)\,QR$. Найденную приблизительную величину P вставляемъ подъ знакъ корня и тогда формула (1) дастъ вторую приблизительную величину P, которая для большаго числа случаевъ практики уже достаточно близка къ истинѣ, такъ что можно обойтись безъ повторенія вычисленія по найденной второй приблизительной величинѣ P. Слѣдуетъ замѣтить, что уголъ β тупой, поэтому членъ съ $\cos\beta$ будетъ отрицательный.

Вычисленіе существенно облегчается, если $\alpha = 180 - \beta$, т. е. если канатъ имѣетъ одинаковый наклонъ въ противоположныхъ направленіяхъ; или если $\alpha = \beta$, т. е. если оба конца каната параллельны или если $\alpha = \beta = 90^0$, т. е. если оба конца отвѣсны и въ послѣднемъ случаѣ

$$P = \frac{(R+\xi+rf)\,Q + Grf}{R - rf} = \frac{\left(1 + \frac{\xi}{R} + \frac{r}{R}f\right)Q + \frac{r}{R}fG}{1 - \frac{r}{R}f}. \quad (2)$$

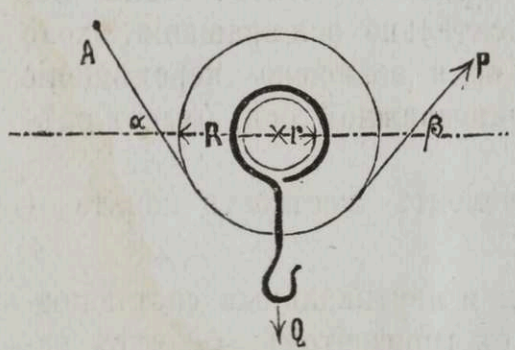
Если грузъ Q великъ, а собственный вѣсъ G сравнительно малъ, то членъ съ G можно отбросить и тогда $P = \frac{R + rf + \xi}{R - rf}Q$. Если нужно не поднять грузъ Q, но опустить его, то въ формулахъ P и Q должны перемѣниться мѣстами.

Примѣръ. Пусть діаметръ каната $\delta = 3$ сантим.; $r = 1{,}5$ сантим.; $R = 12$ сант.; $f = 0{,}1$; слѣд. $\xi = 0{,}2\,\delta = 0{,}2 \cdot 3^2 = 1{,}8$ сантиметра, и потому

$$P = \frac{12 + 1{,}5 \cdot 0{,}1 + 1{,}8}{12 - 1{,}5 \cdot 0{,}1}\,Q = 1{,}18\,Q$$

т. е. сиал P на 18 процентовъ болѣе груза Q, изъ коихъ около 15 процентовъ приходится на жесткость каната.

b) Подвижной блокъ. Не принимая во вниманіе тренія, если S натяженіе неподвижнаго конца каната (при углѣ α съ горизонтомъ), сила P дѣйствующая на другомъ концѣ (при углѣ β) каната $= S$; если $\beta = \alpha$, то $P : Q = R : 2R\sin\alpha$, т. е. поднимающая сила относится къ грузу какъ радіусъ къ хордѣ дуги, охваченной канатомъ.— Если дуга равна полуокружности, то сила вдвое менѣе груза.



фиг. 143.

Принимая въ еоображеніе треніе и пренебрегая собственный вѣсъ G механизма, то уравновѣсія получатъ слѣдующій видъ:

$S(R+\xi) + Qfr - PR = 0$; $S\sin\alpha + P\sin\beta - Q = 0$; $S\cos\alpha - P\cos\beta = 0$.

Откуда найдемъ:

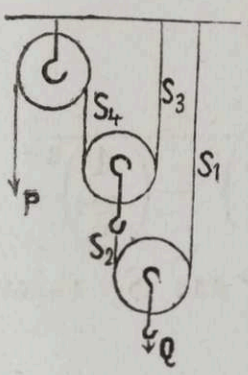
$$S = \frac{Q - P\sin\beta}{\sin\alpha};\quad P = \frac{fr\sin\alpha + R + \xi}{R\sin\alpha + (R+\xi)\sin\beta}\cdot Q;\quad \frac{\cos\beta}{\cos\alpha} = \frac{S}{P}.$$

Если оба конца каната вертикальны или $\alpha = \beta = 90^0$, то тянущая сила

$$P = \frac{R + fr + \xi}{2R + \xi} Q$$

и натяженіе укрѣпленнаго конца

$$S = \frac{R - fr}{2R + \xi} Q$$



фиг. 142.

Примѣръ. Пусть R=12 сантим.; r=1,5 сантим.; μ=0,1 ξ=1,8 сантим., то

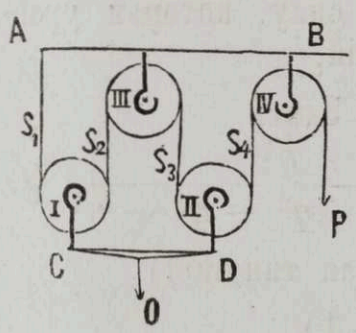
$$P = \frac{12 + 1{,}8 + 0{,}1}{2\,.\,12 + 1{,}8} Q = \frac{13{,}95}{25{,}8} = 0{,}54\ Q.$$

Если грузъ требуется не поднимать, а опускать, то въ формулахъ P и Q перемѣняются мѣстами.

c) Сложный блокъ состоитъ изъ сочетанія нѣсколькихъ подвижныхъ блоковъ. Если n — число подвижныхъ равныхъ блоковъ и пусть для краткости $\frac{R + \xi + rf}{2R + \xi} = p$ и $\frac{R + \xi + rf}{R - fr} = q$ (обозначенія смотри изъ *a* и *b*), тогда

$$P = qp^n Q;\ \text{безъ сопротивленій было бы}\ P = \frac{Q}{2^n} = \left(\frac{1}{2}\right)^n Q.$$

d) Полиспатъ состоитъ изъ подвижныхъ и неподвижныхъ блоковъ; обыкновенно блоки неподвижные и блока подвижные дѣлаются чугунные одинаковаго радіуса, располагаются одинъ возлѣ другаго на общей оси въ особыхъ обоймахъ и отдѣляются одинъ отъ другаго желѣзными пластинками. Каждая обойма снабжается поперечиною и крюкомъ. Полиспасты служатъ для подниманія большихъ грузовъ, поэтому вѣсъ блоковъ и каната можно пренебрегать.



фиг. 144,

Въ состояніи покоя грузъ раздѣляется равномѣрно на всѣ концы каната; слѣдов. натяженіе одного конца равно грузу, раздѣленному на число поддерживающихъ концовъ. Во время движенія каждый слѣдующій канатъ, вслѣдствіе жесткости и тренія шиповъ, напряженъ сильнѣе непосредственно предъидущаго. Пусть натяженія S_1, S_2, S_3, S_4.

1 случай. Тянущій канатъ не поддерживаетъ грузъ. Грузъ Q долженъ быть поднятъ силою P на свободномъ концѣ каната. Уравненіе равновѣсія

$$S_1(R+\xi) + fr(S_1 + S_2) = S_2R \text{ или } S_1(R+\xi+fr) = S_2(R-fr)$$
$$S_2(R+\xi) + fr(S_2 + S_2) = S_3R \text{ или } S_2(R+\xi+fr) = S_3(R-fr)$$

и т. д.

Пусть для краткости $(R + \xi + fr) = A$ и $(R - fr) = B$: тогда напр. для 4 блоковъ:

$$S_1A = S_2B;\ S_2A = S_3B;\ S_3A = S_4B;\ S_4A = S_5B.$$

Отсюда

$$S_5 = \frac{A}{B} S_4 = \left(\frac{A}{B}\right)^2 S_3 = \left(\frac{A}{B}\right)^3 S_2 = \left(\frac{A}{B}\right)^4 S_1;\ S_4 = \left(\frac{A}{B}\right)^3 S_1;$$

$$S_3 = \left(\frac{A}{B}\right)^2 S_1;\ S_2 = \left(\frac{A}{B}\right)^1 S_1.$$

Но такъ какъ должно быть

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = Q, \text{ то } S_1 = \frac{Q}{1 + \frac{A}{B} + \left(\frac{A}{B}\right)^2 + \left(\frac{A}{B}\right)^3}.$$

Пусть $\frac{A}{B} = \frac{R + \xi + Fr}{R - fr} = q$; тогда тянущая сила P или S_5, дѣйствующая на свободномъ концѣ каната, будетъ

$$P = \frac{q^4}{1 + q + q^2 + q^3} Q.$$

Для m поддерживающихъ концовъ, такъ какъ

$$1 + q + q^2 + \ldots + q^{m-1} = \frac{q^m - 1}{q - 1}, \text{ то } P = Q \frac{q^m (q-1)}{q^m - 1}.$$

Пусть n число подвижныхъ блоковъ, то $m = 2n$ и потому

$$P = Q \frac{q^{2n} (q-1)}{q^{2n} - 1}; \text{ безъ сопротивленій было бы } P = \frac{Q}{2n}.$$

Правило. Раздѣли преодолѣваемый грузъ на двойное число подвижныхъ блоковъ полиспаста и частное выразить ту силу, которая уравновѣситъ данный грузъ, еслибъ не было сопротивленій.

2 случай. Тянущій конецъ поддерживаетъ грузъ. Здѣсь

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = Q \text{ и } P = \frac{q^4}{1 + q + q^2 + q^3 + q^4} Q$$

и вообще для m поддерживающихъ концовъ (не считая тянущій)

$$P/Q = \frac{q^m (q-1)}{q^{m+1} - 1} = \frac{q^{2n} (q-1)}{q^{2n+1} - 1}.$$

Слѣдоват. потребная сила во второмъ случаѣ менѣе, нежели въ первомъ.

Примѣръ 1. Пусть $q = 1{,}05$ (для канатныхъ блоковъ) и $n = 3$, тогда

$$\frac{P}{Q} = \frac{1{,}05^6 (1{,}05 - 1)}{1{,}05^6 - 1} = 5{,}074$$

если бы сопротивленій не было, то $P : Q = 6$. Отсюда видно значительное вліяніе сопротивленій движенію на отношеніе P къ Q.

Обыкновенно каждая обоймица заключаетъ 2, 3 и самое большее 4 блока. Большое число блоковъ усложняетъ аппаратъ, но не даетъ особой выгоды, какъ видно изъ слѣдующаго: раздѣлимъ числителя и знаменателя на q^{2n}, тогда

$$Q = P \left\{ \frac{1 - \frac{1}{q^{2n}}}{q - 1} \right\}; \text{ при } n = \infty \ \frac{1}{q^{2n}} = 0 \text{ и } Q = P \left(\frac{1}{q-1}\right)$$

это уравненіе даетъ наибольшее отношеніе $\frac{Q}{P}$ для идеальнаго полиспаста съ безко-

нечно большимъ числомъ блоковъ, при $q = 1{,}05$, тогда $Q = 20\ P$; это число выражаетъ предѣлъ отношенія груза къ силѣ.

Примѣръ 2. Какую надо приложить силу для подъема 250 фунтовъ, помощію пары четверныхъ блоковъ, изъ коихъ одна неподвижна, а другая подвижна? Сообразно съ правиломъ получимъ:

$$4 \cdot 2 = 8 \text{ и } \frac{250}{8} = 31{,}25 \text{ фунт. для напряженія силы.}$$

Примѣръ 3. Какой грузъ можетъ поднять сила въ 120 фунтовъ при помощи двухъ блоковъ одного четвернаго неподвижнаго и другаго тройнаго подвижнаго?

$3 \cdot 2 = 6$; и $120 \cdot 6 = 720$ фунт. для поднимаемаго груза.

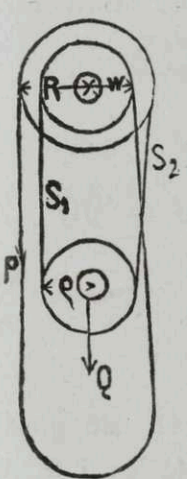
Если же взять въ соображеніе сопротивленія, то грузъ $Q = 5{,}074\ P = 5{,}074 \cdot 120 =$ только 608 фунтовъ.

Примѣръ 4. Подъемная сила крана $Q = 5000$ кг. Полиспастъ имѣетъ 1 неподвижный и 1 подвижной блокъ; слѣдов. $n = 2$, $q = 1{,}1$. Натяженіе цѣпи

$$P = Q\,\frac{q^{2n}(q-1)}{q^{2n}-1} = \frac{5000.0{,}121}{0{,}21} = 2880 \text{ клгр.}$$

Если верхнихъ блоковъ 3, а нижнихъ подвижныхъ 2, то при $Q = 5000$ кг. $q = 1{,}062$, сила на свободномъ концѣ цѣпи $P = Q\,\frac{q^{2n}(q-1)}{q^{2n+1}-1} = 5000$

$$\frac{1{,}062^4(1{,}062-1)}{1{,}062^5-1} = \frac{5000 \cdot 1{,}2637 \cdot 0{,}06}{1{,}3387-1} = \frac{5000 \cdot 0{,}07582}{0{,}3387} = 1/20 \text{ клгр.}$$



фиг. 145.

c. Дифференціальный блокъ. Эта, въ новѣйшее время весьма часто употребляемая, подъемная машина устроена такъ: Два блока различныхъ радіусовъ w и R отлиты вмѣстѣ, такъ что могутъ вращаться одновременно на общей оси; безконечная цѣпь проходитъ по каждому изъ нихъ и по подвижному блоку. Подъемъ груза дѣлается за цѣпь въ томъ мѣстѣ, гдѣ она сходитъ съ большаго блока R. Скольженіе цѣпи устраняется тѣмъ, что каждый изъ двухъ блоковъ имѣетъ на окружности невысокіе зубцы или выступы, между коими и ложатся звенья цѣпи. Пусть $w : R = \alpha$, тогда

$$P = \frac{q^2-\alpha}{1+q} \cdot Q; \text{ безъ сопротивленій было бы } P = \frac{1-\alpha}{2} \cdot Q$$

Грузъ удерживается въ равновѣсіи самъ собою на всякой высотѣ вслѣдствіе тренія, если $\frac{1}{\alpha} = \frac{R}{w} < q^2$

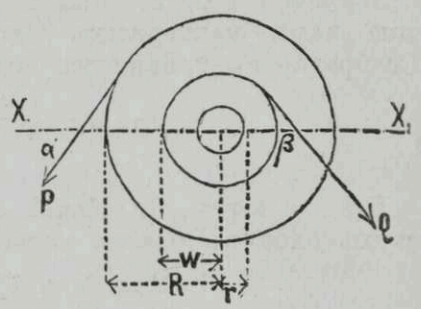
Обыкновенно дѣлается $\alpha = w : R = 10$ къ 11 или же 11 къ 12.

Примѣръ. Пусть $q = 1{,}05$; $w = 145$ и $R = 150$ мм., тогда

$$\frac{P}{Q} = \frac{1{,}05^2 - \frac{145}{150}}{1+1{,}05} = 0{,}066; \text{ безъ сопротивленій было бы } \frac{P}{Q} = \frac{1-\frac{145}{150}}{2} = \frac{1}{60}$$

Если $Q = 100$ килограммовъ, то для подниманія груза нужна сила $P = 6{,}6$ килограмма, тогда какъ при отсутствіи сопротивленій P была бы только 1,66 килогр. Отсюда видно какъ много теряется въ этомъ блокѣ на сопротивленіе тренія,

III. О воротѣ. *a*) Воротомъ называютъ машину, состоящую изъ вала или барабана съ насаженнымъ на него колесомъ или, все равно, рукояткою. Сила дѣйствуетъ на окружность колеса или на оконечность рукоятки, грузъ же поднимается помощію веревки, навивающейся на валъ; воротъ можно разсматривать какъ рычагъ перваго рода, въ которомъ неподвижная ось вращенія лежитъ между точками приложенія груза и силы. Пусть Q грузъ на канатѣ, P сила на окружности колеса, w радіусъ барабана, R радіусъ колеса; если бы не было сопротивленій, то въ случаѣ равновѣсія статическіе моменты PR и Qw или работы обѣихъ силъ должны быть равны между собою. Откуда



фиг. 146.

$$P : Q = w : R$$

т. е. сила относится къ грузу, какъ радіусъ вала къ радіусу колеса. Принявъ въ соображеніе жесткость веревки и треніе шиповъ и называя G вѣсъ машины, найдемъ:

$$P = \frac{1}{R}\left\{(w+\xi)Q+rf\sqrt{(P\sin\alpha+Q\sin\beta+G)^2+(P\cos\alpha-Q\cos\beta)^2}\right\}$$

Для опредѣленія P поступаютъ по способу послѣдовательныхъ приближеній, какъ дано ранѣе для неподвижнаго блока. Для $\beta = 90^0$, т. е. если канатъ съ грузомъ Q вѣситъ отвѣсно, и для $\alpha = 90^0$, т. е. сила P дѣйствуетъ тоже отвѣсно внизъ и будетъ тогда наибольшая

$$max\ P = \frac{(w+\xi+rf)\,Q+rf\,G}{R-rf}$$

Сила P будетъ наименьшая тогда, когда $\beta = 90^0$ и $\alpha = -90^0$, т. е. P дѣйствуетъ отвѣсно вверхъ и

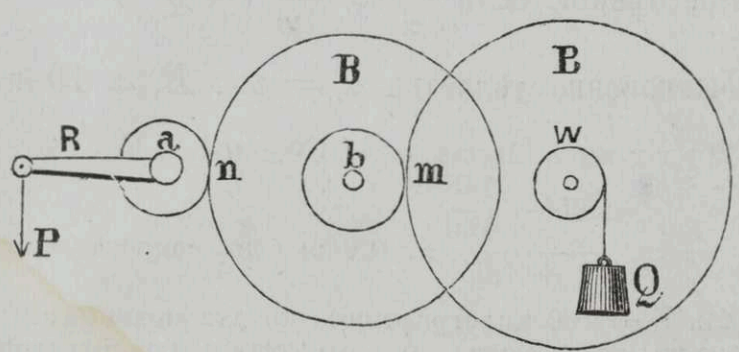
$$min\ P = \frac{(w+\xi+rf)\,Q+rf\,G}{R+rf}$$

Подобныя же формулы получаются посредствомъ подобныхъ же разсужденій для матеріальнаго неравноплечаго рычага, вращающагося около подвижной оси.

Примѣръ. Пусть $\delta = 2{,}6$ сантим.; тогда $\xi = 1{,}35$ сантим.; $w = 10$ сантим. $R = 40$ сантим.; $r = 2$ сантим.; $f = 0{,}1$. Вѣсъ $G = 0$.

$P = \frac{10+1{,}35+2.0{,}1}{40+2.0{,}1}\,Q = \frac{1}{3{,}5}\,Q$; безъ сопротивленій было бы $P = \frac{w}{R}\,Q = \frac{1}{4}\,Q$, т. е. на 4 % менѣе.

b) Равновѣсіе лебедки. Если воротомъ требуется преодолѣть большое сопротивленіе, то для выигрыша въ силѣ вводятъ систему зубчатыхъ колесъ; обыкновенно одну или двѣ пары, получается такъ называемая лебедка простая или двойная. Пусть a и b



фиг. 147.

радіусы шестерень, A и B радіусы колесъ, то не принимая въ соображеніе вредныя сопротивленія, m и n давленія на зубцы.

$$m = Q\frac{w}{B}\,;\; n = m\frac{b}{A}\,;\; P = n\frac{a}{R}\,;\; \frac{P}{Q} = \frac{w}{R}\cdot\frac{a}{A}\cdot\frac{b}{B}$$

т. е. силы относятся къ грузу какъ произведеніе радіусовъ шестерень и барабана къ произведенію радіусовъ колесъ и длины рукоятки. Вмѣсто радіусовъ зубчатыхъ колесъ можно ввести въ вычисленіе ихъ числа зубцовъ. Скорости на окружности рукоятки и барабана относятся обратно пропорціонально силѣ P и грузу Q, ибо работы силъ P и Q равны. Основываясь на этомъ, получается такое правило: Раздѣли скорость движенія силы на скорость движенія груза и частное будетъ вѣсъ груза, который можетъ держать единица напряженія силы.

Примѣръ 1. Двойная лебедка должна поднять грузъ 4000 килограм. Какія силы m и n должны дѣйствовать въ зубцахъ колесъ и на концѣ рукоятки, если плеча суть

$a = 6$ сантим. ; $b = 7$ сантим. ; $w = 11$ сантим. ;
$R = 36$ „ ; $A = 42$ „ ; $B = 44$ „ ;

Сила въ зубцахъ второй пары . . . . . $m = 4000.\frac{11}{44} = 1000$ килограм.

„ „ „ первой „ . . . . . $n = 1000.\frac{7}{42} = 166{,}7$ „

„ на рукояткѣ . . . . . $P = 166{,}7.\frac{6}{36} = 27{,}8$ „

Далѣе отношеніе силы къ грузу

$$P/Q = \frac{11}{44}\cdot\frac{7}{42}\cdot\frac{6}{36} = \frac{1}{4}\cdot\frac{1}{6}\cdot\frac{1}{6} = \frac{1}{144}$$

Слѣдовательно сила въ 144 раза менѣе груза. Работы силы и груза равны. Слѣдовательно сила на рукояти проходитъ пространство въ 144 раза большее, чѣмъ грузъ, т. е. она имѣетъ въ 144 раза большую скорость, чѣмъ грузъ.

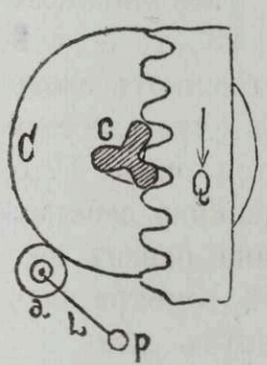
Примѣръ 2. Какъ относится въ простой лебедкѣ сила на рукояткѣ къ грузу на веревкѣ?

Простая лебедка имѣетъ два вала: валъ рукоятки и валъ для веревки. Пусть

отношеніе плечъ рычаговъ на валу рукоятки . . . . $\frac{a}{R} = \frac{1}{5}$

и отношеніе плечъ рычаговъ на валу для веревки . $\frac{Q}{B} = \frac{1}{6}$

то отношеніе силы къ грузу будетъ . . . . . $= \frac{1}{5}\cdot\frac{1}{6} = \frac{1}{30}$



фиг. 148.

Примѣръ 3. Равновѣсіе на домкратѣ (фиг. 1). Домкратъ съ зубчатой рейкой имѣютъ двѣ оси или вала: валъ съ рукояткой и валъ съ колесомъ; онъ слѣдовательно походитъ на простую лебедку, только грузъ лежитъ на зубчатой рейкѣ, а не виситъ на канатѣ. Пусть отношеніе плечъ рычаговъ на валу рукоятки $\frac{a}{L} = \frac{1}{15}$, на валу съ колесомъ $\frac{c}{C} = \frac{1}{6}$;

отношеніе силы къ грузу будетъ $= \frac{1}{15}\cdot\frac{1}{6} = \frac{1}{90}$, т. е. силою 1 можно поднять грузъ 90; при этомъ грузъ движется въ 90 разъ медленнѣе, чѣмъ сила. Поэтому то говорятъ: на сколько въ опредѣленномъ количествѣ работы выигрывается въ силѣ, на столько же теряется въ скорости. Это основной законъ механики.

Примѣръ 4. Пусть сила, равная 30 фунтамъ, приложена къ пятнадцати дюймовой рукояти лебедки.

Пусть тоже шестерня, насаженная на валѣ рукояти, имѣетъ 10 зубьевъ; колесо, приводимое въ движеніе шестернею, имѣетъ 120 зубьевъ и наконецъ барабанъ, на который навивается цѣпь, подымающая грузъ, имѣетъ въ діаметрѣ 9 дюймовъ. спрашивается: какой величины тяжесть можетъ быть поднята лебедкою подобнаго устройства?

$15 \times 2 \times 3{,}1416 = 94{,}248$ дюймамъ окружности, описываемой оконечностію рукояти, на которую дѣйствуетъ сила.

$\frac{120}{10} = 12$ оборотамъ шестерни, а слѣдовательно и рукояти, для одного оборота зубчатаго колеса.

Наконецъ

$3{,}1416 + 9 = 28{,}2744$ дюймамъ окружности барабана, на который навивается цѣпь. Поступая далѣе по правилу, получимъ:

$\frac{94{,}248 \times 12 \times 30}{28{,}2744} = 1200$ фунтамъ для той тяжести, какую можетъ поднять лебедка.

Примѣръ 5. Спрашивается, какъ много будетъ подымать лебедка вышеозначенныхъ размѣровъ, если къ ней, кромѣ имѣющейся шестерни и колеса, прибавить еще одну шестерню въ 15 зубцовъ и еще одно колесо въ 150 зубцовъ?

$\frac{150}{15} = 10$ и слѣдовательно:

$\frac{94\,248 \times 12 \times 10 \times 30}{28{,}2744} = 12000$ фунт.

Изъ примѣра этого видно, что хотя прибавленіе лишней шестерни и лишняго колеса увеличило силу лебедки въ 10 разъ, однакожъ вмѣстѣ съ тѣмъ въ десять же разъ уменьшилась и скорость подъема груза.

Примѣръ 6. Спрашивается, какую надо приложить силу, со скоростію 20 футовъ въ минуту, для того, чтобъ поднять 42 пуда въ 10 минутъ на вышину 60 футовъ?

$\frac{60}{10} = 6$ футамъ скорости, подымаемаго груза, въ минуту, слѣдовательно:

$\frac{42 \times 6}{20} = 12{,}6$ пуд. искомаго напряженія для силы.

c) Равновѣсіе лебедки, принимая въ соображеніе вредныя сопротивленія. Давленіе m вслѣдствіе жесткости каната и тренія шиповъ будетъ болѣе, чѣмъ безъ сопротивленій почти на 4% или въ отношеніи $1 : 1{,}04$; точно также n вслѣдствіе тренія шиповъ и зубцовъ будетъ болѣе въ отношеніи $1 : 1{,}04$ и P въ отношеніи $1 : 1{,}04$. Пусть эти коэффиціенты сопротивленія $1{,}04$, . . вообще k, k_1, k_2, то

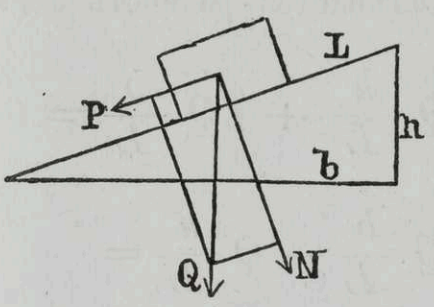
$$mQ = \frac{w}{B}k\ ;\ n = m\frac{b}{A}k_1\ ;\ P = n\frac{a}{R}k_2;\ \Big/\ Q = \frac{a}{A}\cdot\frac{b}{B}\cdot\frac{w}{R}\,k\,k_1\,k_2$$

Слѣдовательно сила P вслѣдствіе всѣхъ сопротивленій увеличивается въ отношеніи $1 : k\,k_1\,k_2 = 1 : 1{,}04.1{,}04.1{,}04 = 1 : 1{,}13$, т. е. всѣ сопротивленія отъ жесткости, тренія шиповъ и зубцовъ составляютъ около 13% груза. Проще всего онѣ вводятся въ вычисленіе такъ, что лебедка расчитывается на 15% большій грузъ. Сила P принимается около 12,5 до 15 килограммовъ; а если выходитъ болѣе, то ставится двойная лебедка. Длина рукоятки $R = 30$ до 40 сантим. Радіусъ w барабана равенъ шести діаметрамъ каната. Ось рукоятки помѣщается на высотѣ 1 метра надъ поломъ. Если Q болѣе 2000 килогр., то вмѣсто каната берутъ цѣпь.

Примѣръ. Натяженіе цѣпи, навивающейся на барабанъ лебедки $Q = 2880$ кило• Толщина цѣпнаго желѣза $\delta = 0{,}032\sqrt{2880} = 1{,}7$ ст. Діаметръ барабана лебедки $2w = 22\delta = 37{,}7$ ст. Теоретическій моментъ груза $Qw = 2880.18{,}7 = 53856$. На треніе въ 2 парахъ зубчатыхъ колесъ 10%, на треніе осей 5%, т. е. всего 15%, то

дѣйствительный моментъ груза $= 1{,}15Qw = 63360$ килогр. сант. Моментъ силы на рукояткѣ (при $R = 40$ ст. и при 4 рабочихъ) $= 4.40.12{,}5 = 2000$ килогр. сантим. Слѣд.: $2000 = 1{,}15.53856 \frac{a}{A} . \frac{b}{B}$, откуда $A.B : a.b = 32$; можно взять $A : a = 6$; $B : b = 5.4$. Первая передача $a = 8$; $A = 48$ с.; чис. зубц. 18 и 108 шагъ 2,8 ст.; вторая передача $b = 12{,}5$; $B = 67{,}5$; зубцовъ 14 и 76 шагъ 5,5 ст.

IV. Наклонная плоскость. а. Если грузъ поднимается по вертикальному направленію, то сила должна быть равна вѣсу груза. Если грузъ движется по горизонтальной плоскости, то эта послѣдняя поддерживаетъ его и сила нужна только для преодолѣнія тренія. Если плоскость образуетъ острый уголъ съ горизонтомъ, то она называется наклонною плоскостію.



фиг. 149.

b. Пусть L длина наклонной плоскости; b ея основаніе (горизонтальное); h ея высота (вертикальная); Q вѣсъ груза, лежащаго на ней.

Разложимъ Q по правилу параллелограмма на силу P параллельную и силу N перпендикулярную къ наклонной плоскости, то безъ тренія относились бы

1) сила P, производящая скольженіе, къ грузу какъ высота наклонной плоскости къ основанію,

2) нормальное движеніе N тѣла, которое вызываетъ треніе, къ грузу какъ основаніе къ длинѣ. Поэтому

$$P = Q \frac{h}{L}; \quad N = Q \frac{b}{L}.$$

а) Выраженіе $G\frac{h}{L}$ означаетъ силу, побуждающую тѣло двигаться книзу отъ собственнаго вѣса; а также силу, параллельную наклонной плоскости и удерживающую грузъ отъ движенія.

Правило. Умножь грузъ на высоту наклонной плоскости и произведеніе раздѣли на длину ея; частное будетъ сила, потребная для уравновѣшиванія даннаго груза.

Примѣръ 1. Какая нужна сила для удержанія груза въ 600 килогр. на наклонной плоскости, если плоскость на 12 метровъ длины поднимается на 1 метръ? Слѣдов. $Q \frac{h}{L} = 600. \frac{1}{12} = 50$ килогр.

Примѣръ 2. Сила въ 120 килогр. и со скоростію 50 метр. въ минуту назначена для подъема тѣла по наклонной плоскости со скоростію 30 метр. Наклонная плоскость имѣетъ на каждыя 25 метровъ длины 8 метровъ высоты. Спрашивается: какъ великъ грузъ, который сила можетъ уравновѣсить?

Назовемъ искомый грузъ χ; тогда по иравилу $\chi \frac{8}{25}$ есть сила, потребная для уравновѣшиванія груза. А $\chi . \frac{8}{25} . 30$ есть работа этой силы, она $=$ работѣ 120.50 силы дѣйствующей; поэтому

$$\chi . \frac{8}{25} . 30 = 120.50; \quad \chi = 120 \frac{50.25}{8.30} = 625 \text{ килогр.}$$

b) Выраженіе $Q\frac{b}{L}$ есть давленіе производимое грузомъ, перпендикулярно къ наклонной плоскости.

Правило. Вѣсъ тѣла, помноженный на длину основанія наклонной плоскости и раздѣленный на наклонную длину ея, равенъ тому давленію, какое оказываетъ тѣло на эту плоскость. Умноженное на коэф. тренія, оно дастъ силу тренія. Слѣдовательно треніе $= f.N$.

При движеніи груза вверхъ по наклонной плоскотти сила двигающая должна преодолѣть силу, побуждающую тѣло двигаться внизъ вмѣстѣ съ силою тренія; при движеніи внизъ преодолѣвается разность этихъ двухъ силъ. Слѣдовательно двигающая сила

при движеніи вверхъ $P^1 = P + fN = Q\frac{h}{L} + fQ\frac{b}{L} =$

$= Q(sin\,\alpha + f\,cos\,\alpha)$,

при движеніи внизъ $P_1 = fN - P = fQ\frac{b}{L} - Q\frac{h}{L} =$

$= Q(f\,cos\,\alpha - sin\,\alpha)$.

Примѣръ. Какая сила можетъ двигать грузъ въ 600 килогр. по наклонной плоскости, если эта плоскость на 12 метровъ длины поднимается на 1 метръ?

Основаніе наклонной плоскости $b\sqrt{12^2 - 2^2} = 11{,}95$ метр.

Треніе общее обѣимъ движеніямъ $= fQ\frac{b}{G} = 600.\frac{11{,}95}{12}\cdot\frac{1}{8} = 74{,}70$ килограм.

Сила, удерживающая тѣло въ равнозѣсіи на наклонной плоскости $= Q\frac{h}{L} =$

$= 600.\frac{1}{12} = 50{,}00$ килограм.

Сила P', двигающая вверхъ, $= fQ\frac{b}{L} + Q\frac{h}{L} = 74{,}70 + 50{,}00 = 124{,}70$ килограм.

Сила P_1, двигающая внизъ, $= fQ\frac{b}{L} - Q\frac{h}{L} = 74{,}70 - 50{,}00 = 24{,}70$ килограм.

Если бы коеффиціентъ тренія былъ $= 1/15$, то треніе для обѣихъ движеній было бы $fQ\frac{b}{L} = 600.\frac{11{,}95}{12}\cdot\frac{1}{15} = 39{,}8$ кило; сила, стремящаяся сдвинуть тѣло внизъ была бы $= Q\frac{h}{L} = 600.\,1/5 = 50$ килограм. Слѣдов. сила для движенія внизъ, $fQ\frac{b}{L} - Q\frac{h}{L} = 39{,}8 - 50 = -10{,}2$ килогр.; слѣдов. въ этомъ случаѣ, при движеніи внизъ, сила должна противодѣйствовать движенію (т. е. дѣйствовать въ противоположномъ направленіи) должна задерживать грузъ для того, чтобы движеніе его было постоянно равномѣрное; въ противномъ случаѣ оно будетъ равномѣрно ускоренное.

с. Въ обыкновенныхъ дорогахъ, и въ особенности въ желѣзныхъ, наклонъ часто бываетъ очень малъ, такъ что за основаніе можетъ быть принята длина самой наклонной плоскости.

Отношеніе высоты наклонной плоскости къ основанію, называется подъемомъ; обозначимъ его чрезъ e, то получаемъ при означенномъ предположеніи:

для силы двигающей вверхъ $= Qf + Qe$;
для силы двигающей внизъ $= Qf - Qe$;

гдѣ Qf обозначаетъ ту часть силы, которая уравновѣшивается треніемъ, Qe ту часть, которая производитъ движеніе, если обѣ части равны между собой, то для движенія кверху нужно употребить силу вдвое большую, чѣмъ треніе; для движенія же книзу не нужно никакой силы.

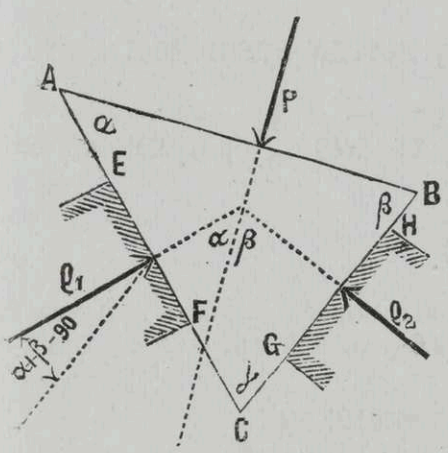
Этотъ случай встрѣчается на желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ отношеніе высоты къ длинѣ $= \frac{1}{200}$ и при $f = \frac{1}{200}$. Для такого или нѣсколько меньшаго подъема, работа при движеніи поѣзда вверхъ и потомъ внизъ равна работѣ, нужной для движенія по горизонтальной дорогѣ, съ тою только разницею, что въ послѣдиемъ случаѣ работа распредѣляется равномѣрно на оба поѣзда, тогда-какъ въ первомъ вся работа издерживается въ первой половинѣ пути, т. е. при подъемѣ, а при опусканіи она $= 0$.

Если вторая часть дѣйствующей силы вдвое больше первой (что зависитъ отъ отношенія подъема къ коэффиціенту тренія), то при подъемѣ можно употребить силу втрое большую тренія, при опусканіи силу равную тренію, но дѣйствующую въ противоположномъ направленіи движенія, т. е. замедляющую. Такой случай встрѣчается на дорогахъ, въ которыхъ отношеніе высоты къ длинѣ $= 1 : 100$, на такихъ дорогахъ для одного подъема и опусканія нужна, слѣдовательно, вдвое большая работа, чѣмъ при движеніи по горизонтальной дорогѣ.

Точно также для подъема въ 2%, т. е. гдѣ отношеніе высоты къ длинѣ $= \frac{1}{50}$, нужно въ четыре раза большую работу, чѣмъ при движеніи по горизонтальной дорогѣ.

При движеніи обыкновенно-нагруженныхъ повозокъ по хорошей дорогѣ, коэффиціентъ тренія равенъ отъ $\frac{1}{30}$ до $\frac{1}{25}$, такъ-что при подъемѣ отъ 3,3 до 4% вверхъ требуется уже двойная сила, а внизъ сила $= 0$.

V. Клинъ. а. Пусть ABC (фиг 150) клинъ, который долженъ быть вогнанъ силою P, дѣйствующею нормально къ его концевой поверхности AB, между двухъ плоскостей EF и GH, которыя давятъ на него съ усиліями Q_1 и Q_2 нормальными къ его боковымъ поверхностямъ AC и BC; направленіе силъ Q_1 и Q_2 пересѣкаются съ направленіемъ силы P; коэффиціенты тренія f_1 и f_2, сопротивленія тренія Q_1f_1 и Q_2f_2 противодѣйствуютъ этому движенію вдоль указанныхъ поверхностей. По началу возможныхъ перемѣщеній для очень малаго перемѣщенія δs параллельнаго направленію силы P имѣемъ слѣдующіе возможные моменты: $P\delta s$; $-Q_1\delta s.\cos\alpha$; $-Q_1f_1\delta s\sin\alpha$; $-Q_2\delta s\cos\beta$; $-Q_2f_2\delta s\sin\beta$ Сумма ихъ должна быть равна нулю; откуда



фиг. 150.

$$P = Q_1(\cos\alpha + f_1\sin\alpha) + Q_2(\cos\beta + f_2\sin\beta).$$

Для очень малаго перемѣщенія δs перпендикулярнаго къ направленію силы P имѣемъ возможные моменты:

$$P\delta s\cos 90^0 = 0;\quad Q_1\delta s\sin\alpha;\quad -Q_1f_1\delta s\cos\alpha;\quad -Q_2\delta s\sin\beta;\quad Q_2f_2\delta s\cos\beta$$

Откуда получается уравненіе

$$0 = Q_1(\sin\alpha - f_1\cos\alpha) - Q_2(\sin\beta - f_2\cos\beta);$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sin\beta - f_2\cos\beta}{\sin\alpha - f_1\cos\alpha}.$$

Если клинъ долженъ удерживаться въ своемъ положеніи треніемъ, то оно противодѣйствуетъ боковымъ давленіямъ и мы имѣемъ условіе

$$Q_1\cos\alpha + Q_2\cos\beta = Q_1f_1\sin\alpha + Q_2f_2\sin\beta;$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{f_2\sin\beta - \cos\beta}{\cos\alpha - f_1\sin\alpha}.$$

Частные случаи:

1) Если клинъ при B имѣетъ прямой уголъ и уголъ заостренія при C равенъ γ, то

$$P = Q_1(\sin\gamma + f_1\cos\gamma) + Q_2 f_2;\ \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1}{\cos\gamma - f_1\sin\gamma}$$

и если клинъ долженъ удерживаться треніемъ

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{f_2}{\sin\gamma - f_1\cos\gamma}$$

2) Если клинъ есть равнобедренная призма, то $\alpha = \beta = 90 - \frac{\gamma}{2}$

и если $f_1 = f_2$, то

$$\frac{Q_1}{Q_2} = 1;\ Q_1 = Q_2;\ P = 2Q\left(\sin\frac{1}{2}\gamma + f\cos\frac{1}{2}\gamma\right)$$

и если клинъ долженъ удерживаться треніемъ, то

для $\frac{Q_1}{Q_2} = 1$ имѣемъ, что $f = \operatorname{tang}\frac{1}{2}\gamma$

т. е. уголъ заостренія клина долженъ быть вдвое болѣе угла тренія ρ, дабы клинъ не могъ выходить самъ собою.

3. Если e есть отношеніе полу ширины головы клина къ длинѣ его стороны, то $e = \sin\frac{1}{2}\gamma$; а такъ какъ γ всегда очень малъ, (т. е. если длина клина равна длинѣ его стороны, то $\cos\frac{1}{2}\gamma$ примемъ $= 1$

и тогда

$$P = 2(e + f)\,Q.$$

Примѣръ. Клинъ употребляется для укрѣпленія колеса на валу. Пусть его ширина на концахъ 1,2 сантим. и 1 сантим.; длина 16 сантиметр. и $f = 0{,}30$; то $2e = (1{,}2 - 1) : 16 = 0{,}2 : 16 = 0{,}0125$.

Сила $P = Q(0{,}0125 + 2.0{,}30) = 0{,}6125\ Q$

т. е. сила P составляетъ $61^1/_4$ процентъ боковаго давленія Q. Безъ тренія сила P была бы только $1^1/_4$ процента отъ Q.

4. Клиновой прессъ. Вѣсъ Q падаетъ съ высоты H на клинъ и вгоняетъ его на глубину h. Не принимая въ расчетъ потерю работы при ударѣ, имѣемъ $GH = Ph$, если P среднее сопротивленіе на пространствѣ h; а вставивъ сюда величину P изъ предъидущей формулы получимъ

$$\frac{G}{Q} = 2\frac{h}{H}(e + f).$$

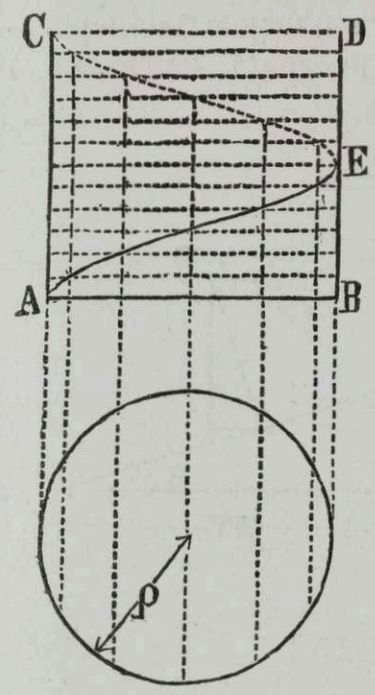
Примѣръ. Пусть $h = 2$ сантим.; $H = 30$ сантим.; $e = 0{,}08$; $f = 0{,}07$; тогда

$$\frac{G}{Q} = 2\frac{2}{30}(0{,}08 + 0{,}07) = 0{,}02.$$

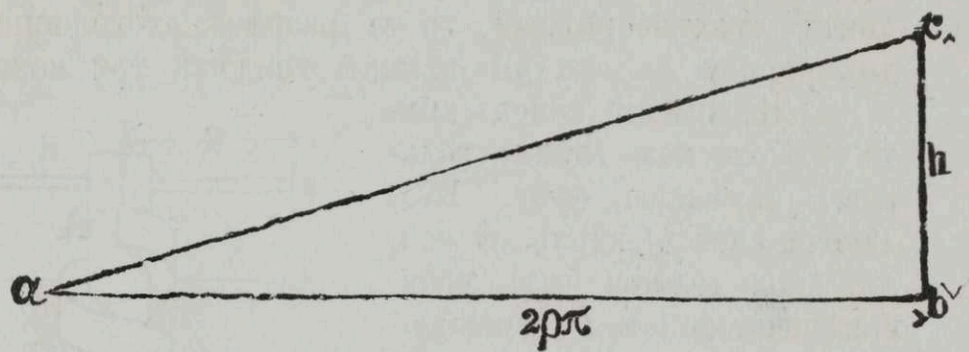
Слѣд. вѣсъ песта относится къ боковому давленію какъ 20 къ 1000 или какъ 1 къ 50.

VI. Винтъ. а) Если мы возьмемъ круглый цилиндръ $ABCD$ (фиг. 151), основаніе котораго имѣетъ радіусъ ρ и если навернемъ на него бумажную полоску, образующую треугольникъ abc, коего основаніе ab равно окружности цилиндра $= 2\pi\rho$ и коего высота $cb = h$, то при навиваніи, если ab остается постоянно въ плоскости основанія AB цилиндра, сторона треугольника ac образуетъ на цилиндрѣ линію двоякой

кривизны, которая называется винтовою линіею. Прямая линія ac называется образующею винтовой линіи; эта линія въ каждой ея точкѣ образуетъ съ прямою касательною къ цилиндру и параллельною плоско-



фиг. 151.



фиг. 152.

сти основанія AB уголъ β, который называется угломъ подъема винта. Часть AEC винтовой линіи называется ходомъ винта и концевыя точки A и C одного и того же винтоваго хода находятся всегда на одной и той же сторонѣ цилиндра; разстояніе между ними на этой сторонѣ называется высотою или шагомъ винтоваго хода, который на обѣихъ фигурахъ обозначенъ линіями $AC = bc = h$. Теперь вообразимъ себѣ, что прямая линія стоитъ перпендикулярно къ оси цилиндра; пусть эта линія движется при этомъ такъ, что она вращается около оси и въ то же время движется вдоль по оси (при чемъ ея концы постоянно идутъ по винтовой линіи), то она опишетъ винтовую поверхность.

Вообразимъ себѣ теперь плоскую фигуру, напримѣръ прямоугольникъ $adbc$ (фиг. 153), движущуюся вдоль по начерченной на цилиндрѣ винтовой линіи такимъ образомъ, что она всегда остается въ вертикальной плоскости и что она всегда прикасается къ винтовой линіи одною и тою же точкою c, тогда образуется тѣло, которое называется винтовою нарѣзкою. Винтовая нарѣзка можетъ быть либо прямоугольная (плоская), треугольная (острая) или круглая, смотря потому, имѣетъ ли производящая ее фигура видъ, ограниченный прямоугольною, треугольною или круговою линіею.

Разница между наибольшимъ радіусомъ нарѣзки и радіусомъ цилиндрическаго стержня называется глубиною нарѣзки.

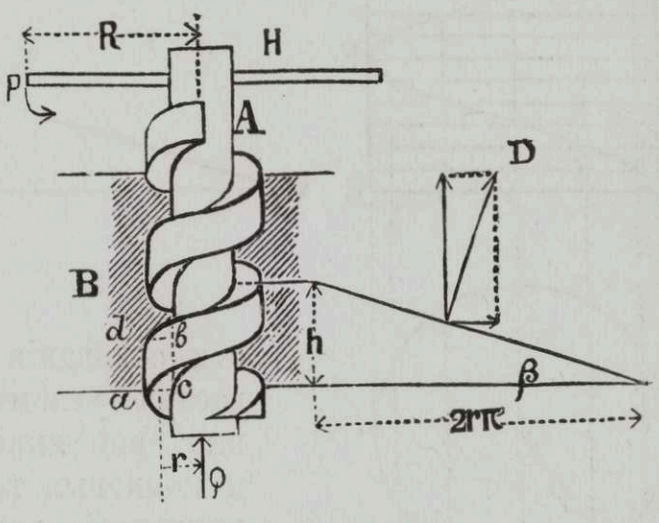
Винтовая нарѣзка вмѣстѣ съ принадлежащимъ къ ней стержнемъ называется винтомъ.

Къ каждому винту принадлежитъ всегда гайка винта, которая представляетъ полый цилиндръ, на внутренней поверхности котораго находится углубленная винтовая нарѣзка одинаковой высоты и одинаковой глубины хода.

Различаютъ правую и лѣвую нарѣзку, смотря по тому поднимается ли нарѣзка отъ лѣвой стороны къ правой или наоборотъ отъ правой стороны къ лѣвой. Такъ напримѣръ фигуры 153 и 154 представляютъ правую винтовую нарѣзку.

Наконецъ въ машиностроеніи часто употребляются такъ называемые многооборотные винты. Винтъ называется двухъ, трехъ и вообще n — оборотнымъ, если его нарѣзка имѣетъ въ основаніи двѣ, три или n винтовыхъ линій одинаковой высоты хода. Такъ напримѣръ если имѣется винтъ трехъоборотный, то въ разрѣзѣ этого винта плоскостію перпендикурярною къ оси мы должны увидѣть три начала трехъ нарѣзокъ.

а) На нижній конецъ винта съ плоскою (прямоугольною) нарѣзкою (фиг. 153) давитъ сила Q вдоль по оси; эта сила должна быть уравновѣшена силою P, вращающею винтъ помощію рычага съ плечемъ R. Пусть β уголо наклона развернутой винтъвой нарѣзки; h высота хода, r средній радіусъ нарѣзки, D полное давленіе винтовой нарѣзки перпендикулярно къ плоскости гайки. Послѣднее образуетъ съ направленіемъ нарѣзки повсюду уголъ β и по направленію оси имѣетъ составляющую $D\cos\beta$, которая должна уравновѣсить давленіе Q, и перпендикулярно къ ней общую составляющую $D\sin\beta$, которая, дѣйствуя на плечѣ r, должна уравновѣсить моментъ вращающей силы P; поэтому если треніе не берется въ расчетъ, то



фиг. 153.

$$D\cos\beta = Q;\ rD\sin\beta = PR;\ \text{слѣдовательно}\ P = Q\frac{r}{R}\,tang\,\beta$$

или, если введемъ высоту хода h,

$$\frac{P}{Q} = \frac{r}{R}\cdot\frac{h}{2r\pi} = \frac{h}{2\pi R}\cdot\ldots\ldots\ldots\ (1)$$

Слѣдовательно вращающая сила относится къ давленію вдоль винта, какъ шагъ нарѣзки къ окружности конца рычага.

Правило. Сила, вращающая винтъ, можетъ быть во столько разъ менѣе преодолѣваемаго сопротивленія, во сколько разъ окружность, описываемая силою, болѣе разстоянія между спиралями винта или, что все равно, его шага.

Примѣръ. Какую силу надо приложить къ 20 дюймовой рукояти винта съ шагомъ нарѣзки въ $^3/_4$ дюйма, чтобъ поднять тяжесть въ 6,000 фунтовъ?
20.2 = 40.3,14 = 125,6 дюйм. окружности, описываемой концомъ рукояти, слѣдов. $\frac{0{,}75.6000}{125{,}6}$ = 35,8 фунтамъ требуемой силы.

b) Условіе равновѣсія на винтѣ, принимая во вниманіе сопротивленіе отъ тренія. Пусть на отдѣльномъ винтовомъ ходѣ находится тѣло, коего вѣсъ Q можно разсматривать какъ силу, приложенную въ его центрѣ тяжести и направленную вертикально внизъ. Тѣло имѣетъ стремленіе скользить внизъ по винтовой поверхности; его можно удержать помощію силы P дѣйствующей горизонтально. Величину этой силы можно опредѣлить на основаніи предъидущаго, если взять въ соображеніе, что средняя винтовая

линія радіуса r, на которой мы воображаемъ давленіе Q, въ развернутомъ видѣ представляетъ наклонную плоскость, высота коей равна шагу винта и основаніе равно окружности цилиндра, на которомъ можно вычертить среднюю винтовую линію. Если тѣло, лежащее на наклонной плоскости, удерживается въ равновѣсіи силою P параллельною основанію, то

$$P = Q\frac{tang\alpha \pm f}{1 \mp f\,tang\alpha}$$ (см. стр. 154 формула 34*b*)

гдѣ α уголъ наклона плоскости, т. е. въ настоящемъ случаѣ уголъ β подъема винтовой линіи и f коэффиціентъ тренія; верхніе знаки въ числителѣ и знаменателѣ относятся къ движенію вверхъ, нижніе къ движенію внизъ.

Пусть винтъ A (фиг. 153) по направленію оси нагруженъ вѣсомъ Q и проходитъ чрезъ неподвижную гайку B. Сила P, дѣйствующая на рычагѣ H, производитъ подниманіе или опусканіе груза Q, смотря по направленію вращенія. Грузъ распредѣляется равномѣрно на нарѣзкахъ винта, находящихся въ гайкѣ; поэтому нарѣзка гайки оказывается нагруженною полнымъ давленіемъ Q, т. е. имѣемъ вышеуказанный случай груза Q на наклонной плоскости. Предполагая, что вращеніе винта совершается силою k, дѣйствующею на окружности средней винтовой линіи, получимъ

$$k = Q\frac{tang\beta \pm f}{1 \mp f\,tang\beta} \text{ и } P = Q\frac{r}{R}\frac{tang\beta \pm f}{1 \mp f\,tang\beta}$$

Но $h = 2\pi r\,tang\,\beta$ и $tang\,\beta = \frac{h}{2\pi r}$; поэтому

$$P = Q\frac{r}{R}\frac{h \pm f2\pi r}{2\pi r \mp fh} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Прибавляя и вычитая $Q\frac{rh}{R2\pi r}$ во второй части, послѣ преобразованія получимъ:

$$P = Q\frac{r}{R}\left[\frac{h}{2\pi r} \pm f\cdot\frac{4\pi^2r^2 + h^2}{2\pi r(2\pi r \mp fh)}\right] \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Второй членъ въ скобкахъ представляетъ ту часть силы P, которая употребляется на преодолѣніе тренія.

Примѣръ. Средній радіусъ нарѣзки $r = 12$ миллиметровъ; шагъ винта $h =$ 7 мм. и коэффиціентъ тренія $f = 0{,}09$. Сила для подниманія груза:

$$P/Q = \frac{7 + 2.12.3{,}14.0{,}09}{2.12.3{,}14 - 7.0{,}09} = \frac{7 + 6{,}78}{75{,}4 - 0{,}63} = 0{,}18;$$ безъ тренія было бы $P/Q = 0{,}09$.

с) Полезное дѣйствіе на винтѣ. При полномъ оборотѣ рычага H (фиг. 153) сила проходитъ путь $2\pi R$, тогда какъ грузъ Q въ то же самое время поднимется на высоту h шага. Механическая работа силы при одномъ оборотѣ винта будетъ $P.2\pi R$, работа груза Qh. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія

$$\eta = \frac{\text{работа груза}}{\text{работа силы}} = \frac{Qh}{P.2\pi R} = \frac{h}{2\pi r}\cdot\frac{2\pi r - fh}{h + f2\pi r} \quad \ldots \quad (4)$$

Примѣръ. Средній радіусъ винта с плоскою рѣзьбою пусть $\rho = 12$ мм. Высота подъема или шагъ винта $h = 7$ мм. и коеффиціентъ тренія $f = 0{,}09$ (принимаемъ).

Полезное дѣйствіе для подъема груза по уравненію 4

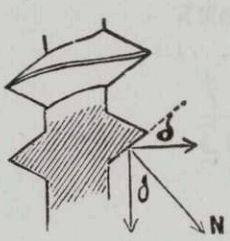
$$\eta = \frac{7}{2.12.3{,}14} \cdot \frac{2.12.3{,}14 - 0{,}09.7}{7 + 0{,}09.2.12.3{,}14} = 0{,}49$$

т. е. полезная работа груза составляетъ 49% механической работы употребляемой силою R или только 49% работы силы употребляется на подъемъ груза, остальные же 51% служатъ для опредѣленія сопротивленія отъ тренія. Изъ этого слѣдуетъ, что съ плоской нарѣзкою винты въ отношеніи полезнаго дѣйствія есть невыгодный механизмъ для передачи движенія.

При острой нарѣзкѣ полезное дѣйствіе еще менѣе и понижается до 33%. Но именно на этомъ основаніи винты съ трехгранною рѣзьбою рекомендуются для скрѣпленія частей между собою; тогда какъ винты съ плоскою рѣзьбою въ нѣкоторыхъ случаяхъ можно употребить и для передачи движенія.

Если винтъ долженъ удерживаться въ своемъ положеніи силою тренія, то должно $P = 0$ или $tang\,(\rho + \beta) = 0$, т. е. $\beta = -\rho$; если винтъ долженъ вывертываться самъ собою, слѣдов. P должно быть отрицательна, то должно быть $\beta > \rho$.

d) Треугольная или острая нарѣзка (фиг. 154) имѣетъ въ поперечномъ сѣченіи равнобедренный треугольникъ съ угломъ 2δ при вершинѣ; тогда нормальное давленіе на нарѣзку $N = Q : cos\,\delta$, вслѣдствіе чего въ $\frac{1}{cos\,\delta}$ болѣе, чѣмъ при плоской нарѣзкѣ. Поэтому вмѣсто; $tang\,\rho$ слѣдуетъ вставить $(tang\,\beta : cos\,\delta) = (f : cos\delta)$ получимъ



фиг. 154.

$$P = Q\,\frac{r}{R}\,\frac{tang\,\beta\,cos\,\delta + f}{cos\,\delta - f\,tang\,\beta}.$$

Обыкновенно уголъ $2\delta = 55^0$ и уголъ наклона нарѣзки невеликъ; поэтому

$$P = Q\,\frac{r}{R}\,\frac{tang\,\beta + 1{,}15\,f}{1 - 1{,}15\,f\,tang\,\beta}.$$

Чтобы винтъ удерживался въ своемъ положеніи единственно отъ тренія, то для $P = 0$ формула даетъ условіе

$tang\,\beta\,cos\,\delta + f = 0$, т. е. f долженъ быть отрицательный

и либо $tang\,\beta = \frac{f}{cos\,\delta}$, либо $cos\,\delta = \frac{f}{tang\,\beta}$.

e) Въ закрѣпныхъ винтахъ кромѣ тренія въ нарѣзкѣ надобно также принять во вниманіе треніе гайки на ея подкладкѣ; часто употребляютъ особыя средства для увеличенія тренія между гайкой и нарѣзкой и подкладкой.

VII. Безконечный винтъ или червякъ служитъ для передачи движенія подъ прямымъ угломъ такъ что оси червяка и зацѣпляющагося съ нимъ зубчатаго колеса перпендикулярны одна къ другой. Въ однооборотномъ червякѣ шагъ нарѣзки равенъ шагу червячнаго колеса. Если червякъ поворачивается одинъ разъ, то колесо подвигается на одинъ зубъ. Если колесо

имѣетъ 30 зубцовъ, то въ одно и то же время червякъ долженъ сдѣлать оборотовъ въ 30 разъ болѣе, чѣмъ колесо. Въ двухъоборотномъ червякѣ шагъ нарѣзки червяка равняется удвоенному шагу колеса, если такой червякъ повернется одинъ разъ, то колесо подвинется на два зуба. Пусть n_R и n_r числа оборотовъ колеса и винта въ 1 минуту; z_R числа зубцовъ колеса и z_r числа нарѣзокъ винта; тогда

$$1)\ z_R : z_r = n_r : n_R ; \quad 2)\ z_R = z_r \frac{n_r}{n_R} .$$

Для однооборотнаго винта $z_r = 1$ и поэтому

$$3)\ \ldots z_R = \frac{n_r}{n_R} .$$

Если R радіусъ колеса, t его шагъ и h шагъ винта, то $2\pi R n_R = h n_r$ и $h = z_r t$, то

$$R = z_r \frac{t}{2\pi} \frac{n_r}{n_R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Но для однооборотнаго винта $z_r = 1$ и $R = \frac{t}{2\pi} \frac{n_r}{n_R} = \frac{t}{2\pi} z_R$.

Изъ отношенія видно, что безконечный винтъ весьма пригоденъ для превращенія большихъ скоростей въ малыя; только передаваемая сила не должна выть велика, иначе происходило бы сильное изнашиваніе трущихся частей.

Опредѣленіе величины вращающей силы, отнесенной къ окружности основнаго цилиндра винта. Обозначимъ R радіусъ колеса и r радіусъ винта (т. е. радіусъ его основнаго цилиндра въ мм.); n_R и n_r ихъ числа оборотовъ въ минуту; E работу въ килограммахъ, передаваемую винтомъ на колесо; P вращающую силу на окружности основнаго цилиндра винта, дѣйствующую касательно къ его круговому сѣченію и v скорость винта въ метрахъ, то

$$E = Pv, \text{ откуда } P = \frac{E}{v} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Но такъ какъ

$$v = \frac{2r\pi n_r}{1000.60} = \frac{r\pi n_R}{30000}$$

то чрезъ подставку этой величины въ уравненіе (1) получимъ

$$P = \frac{30000}{\pi} \frac{E}{r n_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Но винтъ дѣйствуетъ на колесо подобно наклонной плоскости съ угломъ подъема указ. наклона и такой длины, которая равна длинѣ виитоваго завитка; поэтому если β обозначаетъ уголъ подъема винта и H (въ килогр.) сопротивленіе, дѣйствующее на начальной окружности колеса

параллельно оси винта, то не принимая во вниманіе сопротивленія отъ тренія, будетъ

$$P = K\,tang\,\beta$$

или, если h — высота винтоваго хода и такъ какъ

$$tang\,\beta = \frac{h}{2\pi r}, \text{ то } P = K\frac{h}{2\pi r} = K\frac{R}{rz_R}$$

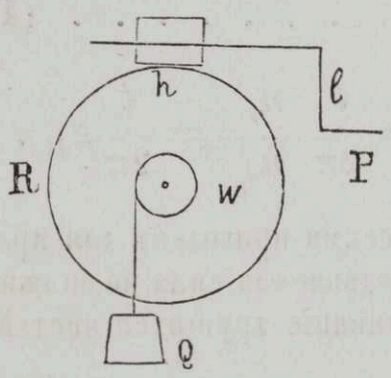
откуда для величины боковаго усилія, дѣйствующаго на колесо по направленію оси винта и являющагося отъ вращающей силы P

$$K = \frac{2\pi r}{h} P$$

или вслѣдствіе соотношенія (2) подъемъ также:

$$K = 60000\,\frac{E}{hn_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Отношеніе силы къ сопротивленію на безконечномъ винтѣ. Пусть Q грузъ на канатѣ, w радіусъ барабана, R радіусъ колеса, r радіусъ винта, z число зубцовъ колеса, h шагъ винта, P сила на рукояткѣ, l длина рукоятки, тогда



фиг. 155.

$$\frac{P}{Q} = \frac{w}{l}\frac{1}{z_R}; \quad \ldots\ldots (1)$$

такъ какъ $z_R = \frac{2\pi R}{h}$, то

$$P/Q = \frac{w}{l}\,\frac{h}{2\pi R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Отношеніе силы съ сопротивленію равно отношенію плечь сопротивленія и силы умноженному на отношеніе шага винта къ окружности колеса.

Отъ тренія осей винта и колеса и особенно отъ тренія въ нарѣзкѣ и въ зубцахъ колеса полное сопротивленіе будетъ гораздо болѣе, чѣмъ полезное сопротивленіе Q.

Пусть P_1 сила, которая должна бы дѣйствовать на концѣ рычага l, чтобы преодолѣть какъ полезное сопротивленіе Q такъ и всѣ сопротивленія тренія; пусть p_1 сопротивленіе отъ тренія между винтовыми ходами и зубцами колеса, отнесенное къ окружности, описываемый концомъ рычага во время движенія; пусть q_1 сопротивленіе отъ тренія обоихъ шиповъ, отнесенное къ той же самой окружности; то должно быть

$$P_1 = P + p_1 + q_1$$

при чемъ P имѣетъ величину, опредѣляемую изъ уравненій (1) и (2). Величину p_1 можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ.

Пусть K сопротивленіе Q отнесенное къ окружности колеса; ρ среднее усиліе, которое должно дѣйствовать на высотѣ, чтобы преодолѣть сопротивленіе K вмѣстѣ съ треніемъ между зубцами и нарѣзками высота; и

β уголъ подъема винта Такъ винтъ дѣйствуетъ на зубцы колеса подобно наклонной плоскости съ угломъ α, основаніемъ $2\pi r$ и высотою h, на которую нужно поднять грузъ K силою ρ параллельною основанію, то

$$p = K\,tang(\beta + \rho) = K\frac{tang\,\beta + f}{1 - f\,tang\,\beta} =$$

$$= K\,tang\,\beta + f\,K\frac{1 + tang^2\beta}{1 - f\,tang\,\beta} \cdot \ldots \ldots (3)$$

Но $tang\,\beta = \frac{h}{2\pi r}$ и $tang\,\rho = \frac{R}{rz_R}$ и потому (4)

$$p = K\frac{R}{rz} + fK\frac{R^2 + r^2z^2_R}{rz_R(rz_R - fR)} = K\frac{h}{2\pi r} + fK\frac{h^2 + 4r^2\pi}{2r\pi(2r\pi - fh)} \cdot (5)$$

Отсюда видно, что треніе нарѣзки въ зубцахъ колеса, приведенное къ средней окружности винта, выражается чрезъ

$$p'' = f\,K\frac{h^2 + 4r^2\pi^2}{2r\pi(2r\pi - fh)} = fK\frac{R^2 + r^2z^2_R}{rz_R(rz_R - fR)} \cdot (6) \text{ и } (7)$$

Потеря работы (если v скорость въ миллиметрахъ и n число оборотовъ винта)

$$e = p''v = \frac{f}{60000}\,Kn\,\frac{h^2 + 4r^2\pi^2}{(2r\pi - fh)} =$$

$$= \frac{f}{30000}\,Kn_r\,\frac{R^2 + r^2z^2_R}{z_R(rz_R - fR)} \cdot \ldots \ldots (8) \text{ и } (9)$$

Изъ этихъ уравненій (6) и (7) можно видѣть, что это сопротивленіе тренія увеличивается съ h или съ z_R и будетъ безконечно велико, или

$$2\pi_R = fh \text{ или } zz_R = fR.$$

Если отнесемъ сопротивленіе къ окружности рукоятки, то

$$\left(K = Q\frac{w}{R} \text{ и такъ какъ } p' = p''\frac{r}{l}\right)$$

$$p' = fQ\frac{rw}{lR} \cdot \frac{h^2 + 4\pi^2r^2}{2\pi R(2\pi r - fh)} = fQ\frac{rw}{lR}\frac{R^2 + r^2z^2_R}{rz_R(rz_R - fR)} \cdot$$

Примѣръ. Пусть $l = 180$ мм.; $r = 70$ мм.; $w = 120$ мм.; число зубцовъ 30; $R = 238{,}8$ мм. и его шагъ = шагу винта $h = 50$ мм., $Q = 450$ килогр.

Если бъ сопротивленій не было, то $P = Q\frac{w}{l}\frac{h}{2\pi R} =$

$$= \frac{120}{180} \cdot \frac{50}{2.3{,}14.238{,}8} = 10 \text{ килогр.}$$

Сила p' приведенная къ окружности рукоятки для преодолѣнія треніи между винтомъ и колесомъ

$$p' = 0{,}1.450\,\frac{70.120}{180.238{,}8} \cdot \frac{238{,}8^2 + 70^2.30^2}{70.30(70{,}30 - 0.1.238{,}8)} = 9{,}01 \text{ килогр.}$$

Поэтому, если не считать треніе шиповъ, на рукояткѣ должно употребить силу $10 + 9 = 19$ кило. Слѣд. сопротивленіе отъ тренія составляетъ $9{,}01 : 19{,}01 = 47\%$ всей дѣйствующей на рукояткѣ силы.

59. Равновѣсіе тяжелаго подпертаго тѣла. Тѣло, лежащее на плоскости будетъ находиться въ равновѣсіи, если оно не подвержено дѣйствію пары силъ, причемъ равнодѣйствующая всѣхъ силъ, приложенныхъ къ тѣлу, должна проходить черезъ точку опоры и быть перпендикулярной къ поверхности соприкосновенія между тѣломъ и опорной плоскостью.

Если опорная плоскость горизонтальна въ точкѣ соприкасанія и тѣло подвержено дѣйствію только силъ тяжести, которыя можно замѣнить равнодѣйствующей, приложенной къ центру тяжести, то тѣло будетъ въ равновѣсіи, если центръ тяжести находится на одной вертикальной линіи съ точкой опоры; оно будетъ въ равновѣсіи на всякой точкѣ, въ которой поверхность его соприкасанія перпендикулярно къ линіи, соединяющей эту точку съ центромъ тяжести, другими словами, во всякой точкѣ, разстояніе которой отъ центра тяжести есть maximum или minimum.

Вообще говоря, если тѣло выводится изъ своего положенія дѣйствіемъ самаго незначительнаго сотрясенія, то оно можетъ: или принять прежнее положеніе (устойчивое равновѣсіе), или сохранить данное ему новое положеніе (безразличное равновѣсіе), или, наконецъ, стремиться принять положеніе устойчиваго или безразличнаго (неустойчивое равновѣсіе).

Круглое тѣло на горизонтальной опорѣ будетъ находиться въ положеніи устойчиваго равновѣсія вообще тогда, когда его центръ тяжести занимаетъ самое низкое положеніе.

60. Устойчивость. Степень устойчивости. Если тѣло съ плоскимъ основаніемъ стоитъ на плоской опорѣ, то къ нему нужно приложить какую нибудь конечную внѣшнюю силу, чтобы вывести его изъ занимаемаго имъ положенія; то сопротивленіе, какое вѣсъ тѣла оказываетъ стремленію этой внѣшней силы, назыв. устойчивостью тѣла Можно разсматривать сопротивленіе скольженію и сопротивленіе опрокидыванію (степень устойчивости). Первое было разсмотрѣно въ параграфахъ о треніи, теперь мы займемся послѣднимъ. Примемъ, что скольженія нѣтъ, что оно уничтожено какимъ либо способомъ; примемъ точно также, что уничтожено стремленіе тѣла повернуться около вертикальной оси (предполагая неподвижнымъ ребро, около котораго тѣло опрокидывается).

Пусть тѣло, лежащее плоской стороной на горизонтальной плоскости, вращается около горизонтальной оси, проходящей черезъ какую нибудь точку его на опорной плоскости, силой P, дѣйствующей на него въ вертикальной плоскости, перпендикулярной къ оси вращенія; тогда условія равновѣсія будутъ:

Пусть G вѣсъ тѣла, x — разстояніе проэкціи центра тяжести на опорную плоскость отъ оси вращенія; r — разстояніе точки приложенія силы P отъ той же оси, тогда по крайней мѣрѣ:

$$Pr = Gx \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Величина Gx называется моментомъ устойчивости. Его назыв. также мѣрою устойчивости. Поэтому въ статическомъ смыслѣ мѣра устойчивости равна произведенію x проэкціи центра тяжести на основаніе отъ ребра опрокидыванія на вѣсъ тѣла.

Но чтобы тѣло не опрокидывалось, моментъ устойчивости долженъ быть больше, чѣмъ опрокидывающій моментъ, т. е. $Gx > Pr$ или:

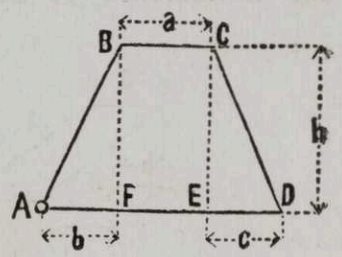
$$S = \frac{Gx}{Pr} > 1 \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Отношеніе $\frac{Gx}{Pr}$ выражаетъ степень устойчивости. Если степень устойчивости равна единицѣ, то тѣло находится въ неустойчивомъ равновѣсіи.

Тѣло, для котораго степень устойчивости равна или менѣе единицы, должно быть подперто искусственно.

Моментъ устойчивости призматическихъ тѣлъ съ сложной формой поперечнаго сѣченія лучше всего опредѣляется, разложивши поперечныя сѣченія на простыя фигуры, моменты которыхъ опредѣляюся относительно одной общей оси вращенія; сложивши алгебраически полученные моменты, мы находимъ моментъ устойчивости всего тѣла.

61. Примѣры на опредѣленіе момента устойчивости. Во всѣхъ слѣдующихъ примѣрахъ M_A означаетъ моментъ устойчивости относительно ребра опрокидыванія A. Вѣсъ кубической единицы матеріала, изъ котораго сдѣлана призма пусть будетъ — γ. Размѣры и форма поперечнаго сѣченія призмы видны изъ приложенныхъ рисунковъ.



фиг. 156.

I. Призма съ трапецоидальнымъ поперечнымъ сѣченіемъ $ABCD$ (фиг. 156). Длина перпендикулярно къ плоскости чертежа равна единицѣ.

$$M_A = \gamma\left[\frac{bh}{2}\cdot\frac{2}{3}b + ah\left(b + \frac{a}{2}\right) + \frac{ch}{2}\left(b + a + \frac{c}{3}\right)\right] =$$

$$= \gamma h\left[\frac{b^2}{3} + a\left(b + \frac{a}{2}\right) + \frac{c}{2}\left(b + a + \frac{c}{3}\right)\right] \ldots (1)$$

Отсюда можно опредѣлить моменты устойчивости:

a) Трапецоидальной призмы (или стѣны) $ABCE$ съ отвѣсной задней стѣнкой, при этомъ $c = 0$; получимъ:

$$M_A = \gamma h\left\{\frac{b^2}{3} + a\left(b + \frac{a}{2}\right)\right\} \ldots\ldots (2)$$

b) Трапецоидальной призмы (или стѣны) съ отвѣсной передней стѣнкой; при этомъ $b = 0$

$$M_F = \gamma h\left\{\frac{a^2}{2} + \frac{c}{2}\left(a + \frac{c}{3}\right)\right\} \ldots\ldots (3)$$

c) Прямоугольной призмы $FBCE$; здѣсь $b = c = 0$:

$$M_E = M_F = \gamma h\,\frac{a^2}{2} \ldots\ldots\ldots (4)$$

3) Неправильной треугольной призмы, составленной изъ прямоугольныхъ треугольниковъ AFB и CDE; $a = 0$:

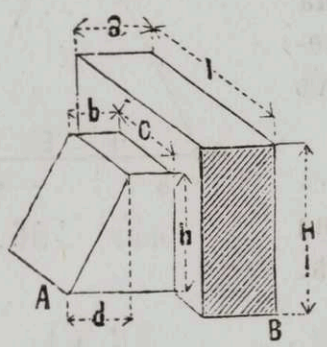
$$M_A = \gamma h \left\{ \frac{b^2}{3} + \frac{c}{2}\left(b + \frac{c}{3}\right)\right\}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

II. Стѣны съ прямоугольнымъ профилемъ, подпертыя контрфорсами съ трапецевиднымъ профилемъ, фиг. 157.

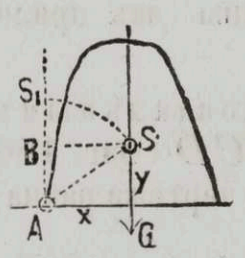
$$\left.\begin{aligned} M_A &= \gamma\left\{hc\left[\frac{d^2}{3} + b\left(d + \frac{b}{2}\right)\right] + aHl\left(d + b + \frac{a}{2}\right)\right\}; \\ M_B &= \gamma\left\{\frac{a^2 Hl}{2} + hc\left[b\left(a + \frac{b}{2}\right) + \frac{d}{2}\left(a + b + \frac{d}{3}\right)\right]\right\}. \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (6)$$

Изъ общаго выраженія Gx момента устойчивости видно, что въ случаѣ, когда заботятся о сбереженіи матеріала, то наивыгоднѣйшій профиль будетъ тотъ, въ которомъ величина x значительна, тогда придется уменьшить соотвѣтственно величину G, чтобы получить ту же степень устойчивости.

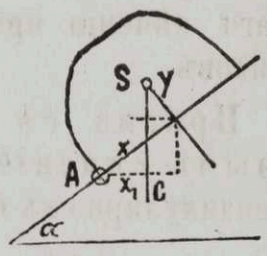
III. Въ динамическомъ смыслѣ мѣра устойчивости есть работа, нужная для опрокидыванія тѣла, то есть работа для перемѣщенія центра тяжести изъ положенія S въ положеніе S_1 (фиг. 158), отвѣсное надъ осью вра-



фиг. 157.



фиг. 158.



фиг. 159.

щенія, т. е. работа поднятія его на величину BS_1; если мы обозначимъ первоначальныя координаты центра тяжести относительно оси вращенія черезъ x и y, то работа выразитъ:

$$A = G(AS_1 - AB) = G(\sqrt{x^2 + y^2} - y)$$

или, умноживъ и раздѣливъ вторую часть на $\sqrt{x^2 + y^2} + y$, получаемъ:

$$A = G\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2} + y} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Отсюда видно, что работа, потребная для опрокидыванія тѣла, тѣмъ меньше, чѣмъ больше y, т. е. чѣмъ выше центръ тяжести надъ плоскостью опоры. Если тѣло лежитъ на наклонной плоскости, которая образуетъ съ горизонталью уголъ α, то, обозначивъ (фиг. 159) черезъ y и x первоначальныя координаты центра тяжести относительно оси вращенія и черезъ $x^1 = AC$ и $y^1 = SC$ новыя координаты, будемъ имѣть:

$$x^1 = x\ Cos.\alpha - y\ Sin\ \alpha;\ y^1 = y\ Cos.\alpha + x\ Sin.\alpha.$$

Вставивъ эти значенія въ формулу (7), получимъ искомую работу.

Моментъ устойчивости, а также и работа A будутъ нуль, когда $x^1 = 0$, т.-е. когда

$$tan.\ \alpha = \frac{x}{y}$$

или, когда линія тяжести проходитъ черезъ ребро вращенія. Если вообразимъ, что тѣло повернулось на столько, что центръ тяжести S находится вертикально надъ ребромъ вращенія, то тѣло не имѣетъ болѣе устойчивости; самая небольшая сила можетъ вращать его впередъ или обратно; это равновѣсіе называется неустойчивымъ.

71. О мгновенныхъ силахъ и объ измѣреніи ихъ. Наблюденіе показываетъ, что всѣ силы природы дѣйствуютъ непрерывно, т.-е. такъ что въ безконечно малый промежутокъ времени производятъ безконечно малое измѣненіе скорости и безконечно малое перемѣщеніе тѣла. Существуютъ однако силы, которыя повидимому составляютъ исключеніе и которыя назыв. мгновенными; они называются также ударами или импульсами. Эти силы, дѣйствуя съ чрезвычайно большимъ напряженіемъ, сообщаютъ тѣлу въ продолженіи времени чрезвычайно короткаго и почти всегда непримѣтнаго, конечное измѣненіе скорости какъ по величинѣ такъ и по направленію и которое можетъ быть наблюдаемо; при этомъ положеніе точки, къ которой они приложены, не измѣняется замѣтнымъ образомъ въ продолженіи времени дѣйствія силы. Но въ сущности эти силы ничѣмъ не отличаются отъ обыкновенныхъ силъ; онѣ суть также непрерывны, только продолжительность времени ихъ дѣйствія весьма мала, а напряженіе весьма велико; вслѣдствіе этого положеніе точки не успѣетъ еще измѣниться, не имѣя времени, а скорость вдругъ получаетъ конечное измѣненіе. Такого рода силы уже нельзя измѣрять ускореніемъ, т.-е. отношеніемъ скорости ко времени. Эти силы могутъ быть задаваемы только по тѣмъ самымъ измѣненіямъ скорости, которыя они производятъ, т.-е. по тому количеству движенія, которое они могутъ сообщить въ безконечно малое время своего дѣйствія. Поэтому если m есть масса точки, v измѣненіе скорости, то величина $\mu = mv$ и есть мѣра мгновенной силы. Эти количества движенія могутъ быть изображаемы геометрически линіями, выходящими изъ точекъ приложенія силъ и по направленію скорости; величина линій суть mv. Поэтому мгновенныя силы, дѣйствующія на матеріальную точку одновременно, могутъ слагаться и разлагаться подобно силамъ, ибо мгновенныя силы пропорціональны скоростямъ. Система мгновенныхъ силъ, дѣйствующихъ на тѣло одновременно, замѣняется вообще равнодѣйствующей силой и равнодѣйствующей парой.

72. Прямой центральный ударъ двухъ тѣлъ происходитъ тогда, когда однородные два тѣла движутся по одной и той же прямой линіи, соединяющей ихъ центры тяжести.

I. Разсмотримъ ударъ двухъ неупругихъ тѣлъ. При ударѣ скорости такихъ тѣлъ дѣлаются равными и они продолжаютъ движеніе съ общей скоростью, величина которой будетъ опредѣлена ниже. Пусть m_1, m_2 массы тѣлъ; v_1 и v_2 ихъ скорости до удара, направленія этихъ скоростей опредѣляются знакомъ; v_0 ихъ общая скорость послѣ удара. Такимъ образомъ первое тѣло теряетъ въ скорости: $v_1 - v_0$, а второе $v_2 - v_0$.

Первое тѣло сообщаетъ второму ударъ $m_1(v_1 - v_0)$, а второе первому — $m_2(v_2 - v_0)$. Но по началу: дѣйствіе равно противодѣйствію мы должны имѣть:

$$m_1(v_1 - v_0) + m_2(v_2 - v_0) = 0,$$

$$\text{или } m_1v_1 + m_2v_2 = v_0(m_1 + m_2); \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

т.-е. алгебраическая сумма (количествъ движенія) обоихъ тѣлъ остается постоянною во все время удара; общая скорость обоихъ тѣлъ послѣ удара:

$$v_0 = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Живая сила до удара:

$$\frac{1}{2}\, m_1v_1^2 + \frac{1}{2}\, m_2v_2^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

а послѣ удара:

$$\frac{1}{2}\, v_0^2(m_1 + m_2) = \frac{1}{2}\left(\frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}\right)^2 (m^1 + m_2) =$$

$$= \frac{1}{2}\, \frac{m_1^2v_1^2 + m_2^2v_2^2 + 2m_1m_2v_1v_2}{m_1 + m_2} =$$

$$= \frac{1}{2}\, m_1v_1^2 + \frac{1}{2}\, m_2v_2^2 - \frac{m_1m_2}{2m^1 + m_2}\,(v_1 - v_2)^2 \ldots \quad (4)$$

Сравнивая это выраженіе съ выраженіемъ (3), видимъ, что при ударѣ неупругихъ тѣлъ происходитъ потеря живой силы и что потеря въ живой силѣ пропорціональна квадрату разности скоростей. Потерянныя скорости выражаются такъ:

$$\left.\begin{aligned} v_1 - v_0 = v_1 - \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_2}{m^1 + m_2}\,(v_1 - v_2) \\ \text{и } v_2 - v_0 = v_2 - \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2}\,(v_2 - v_1) \end{aligned}\right\} \ldots \quad (5)$$

Отсюда, живыя силы для потерянныхъ скоростей:

$$\frac{m_1}{2}\,(v_1 - v_0)^2 = \frac{m_1}{2}\left(\frac{m_2}{m_1 + m_2}\,(v_1 - v_2)\right)^2;$$

$$\frac{m_2}{2}\,(v_2 - v_0)^2 = \frac{m_2}{2}\left(\frac{m_1}{m_1 + m_2}\,(v_1 - v_2)\right)^2;$$

и, слѣдовательно, совокупность живыхъ силъ, соотвѣтствующихъ потеряннымъ скоростямъ:

$$\frac{m^1}{2}\,(v_1 - v_0)^2 + \frac{m_2}{2}\,(v_2 - v_0)^2 = \frac{m_1m_2^2 + m_2m_1^2}{2(m_1 + m_2)^2}\,(v^1{}_2 - v_2)^2$$

$$= \frac{m_1m_2}{2(m_2 + m_1)}\,(v_1 - v_2)^2 \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Сравнивая это выраженіе съ (4), видимъ, что потеря живой силы при ударѣ неупругихъ тѣлъ равна живой силѣ, соотвѣтствующей потеряннымъ скоростямъ. Это и есть теорема Карно.

II. При центральномъ ударѣ двухъ тѣлъ совершенно упругихъ (т. е. тѣлъ, имѣющихъ свойство вполнѣ возстановлять свой первоначальный видъ послѣ того, какъ прекратилось дѣйствіе силы) нужно различить два періода. Въ первомъ періодѣ тѣла сжимаются на ударной поверхности. Затѣмъ во второй періодъ, начинающійся отъ момента, когда скорость обоихъ тѣлъ дѣлается одинаковою, тѣла, вслѣдствіе своей упругости, начанаютъ возстановлять свою форму, отталкиваться одно отъ другаго.

Давленіе между тѣлами во второй періодъ будутъ тѣ же самыя, которыя производили упругое формоизмѣненіе; поэтому должны происходить такія же измѣненія скорости, какъ въ первомъ періодѣ. Скорость массы m^1 должна еще разъ уменьшаться на $v^1 - v_2$, а массы m_2 на $v_2 - v_0$. Послѣ этого оба тѣла должны раздѣлиться и конечныя скорости будутъ

$$\left.\begin{aligned} u^1 &= v_1 - 2(v_1 - v_0) = 2v_0 - v_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2m_1}{m_1 + m_2} \\ u_2 &= v_2 = 2(v_2 - v_0) = 2v_0 - v_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m^1v^1}{m_1 + m_4} \end{aligned}\right\} \quad . \quad (7)$$

откуда получается:

$$\begin{aligned} m_1u_1 + m_2u_2 &= m_1\frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2} + m_2\frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2} \\ &= m_1v_1 + m_2v_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8) \end{aligned}$$

т. е. алгебраическая сумма мгновенныхъ силъ, сообщающихъ обоимъ тѣламъ ихъ скорости, не измѣняется.

Уравненіе живыхъ силъ будетъ:

$$\begin{aligned} \frac{m_1}{2}u^{12} + \frac{m_2}{2}u_2^2 &= \frac{m_i}{2}\left(\frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_4}\right)^2 + \\ + \frac{m_2}{2}\left(\frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}\right)^2 &= \frac{m_1}{2}v_1^2 + \frac{m_2}{2}v_2^2 \quad . \quad . \quad . \quad (9) \end{aligned}$$

т. е. живая сила при ударѣ двухъ совершенно упругихъ тѣлъ не измѣняется. Что и понятно, ибо въ періодъ сжатія живая сила расходуется на измѣненіе формы тѣлъ въ мѣстѣ прикосновенія и вблизи онаго, преодолѣвая упругость; во второй періодъ упругость возвращаетъ живую силу, затраченную въ періодъ сжатія; слѣд. сумма живыхъ силъ возстановится, т. е. при концѣ будетъ имѣть прежнюю величину, какъ въ началѣ.

Потеря скоростей при ударѣ двухъ совершенно упругихъ тѣлъ по формулѣ (7):

$$\left.\begin{aligned} v_1 - u_1 &= v_1 - (2v_0 - v_1) = 2(v_1 - v_0) \\ v_2 - u_2 &= v_2 - (2v_0 - v_2) = 2(v_2 - v_0) \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

т. е. въ два раза больше, чѣмъ при ударѣ неупругихъ тѣлъ и согласно формуламъ (5) равны:

$$v_1 - u_1 = \frac{2m_2}{m^1 + m_2}(v_1 - v) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

$$v_2 - u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}(v_2 - v_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Примѣръ 1. Съ какой скорости долженъ шаръ, 4 кило. вѣса, центрально удариться въ покоющійся шаръ 12 кило., чтобы сообщить ему скорость въ 0,6 м? Если оба шара неупруги, то по формулѣ (2), причемъ $v_2 = 0$, будемъ имѣть:

$$v_0 = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}\,;\; v_1 = \frac{m_1 + m_3}{m_1} v_0$$

$$\text{т. е. } v_1 = \frac{4 + 12}{4} \cdot 0{,}6 = 2{,}4 \text{ м.}$$

Если тѣла упруги, то по формулѣ (12), причемъ $v_2 = 0$, имѣемъ:

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{2m_1} u_2 = 1{,}2 \text{ м.}$$

Примѣръ 2. Если въ какой нибудь машинѣ происходитъ въ каждую минуту 16 ударовъ между неупругими тѣлами, массы которыхъ

$$m_1 = \frac{500}{g} \text{ и } m_2 = \frac{600}{g}$$

со скоростями $v_1 = 1{,}5$ *М.* и $v_2 = 0{,}6$ *М.*, то потеря въ ихъ работѣ вслѣдствіе такихъ ударовъ, по формулѣ 6.

$$L = \frac{16}{60} \cdot \frac{(1{,}5 - 0{,}6)^2}{2g} \cdot \frac{500.600}{1100} = 3 \text{ килограмма-метра въ 1 секунду}$$

$$= \frac{1}{25} \text{ лошадиной силы.}$$

Примѣръ 3. Копровая баба падаетъ на сваю. Если бы при ударѣ работа не терялась, то вся находящаяся въ бабѣ работа должна бы пойти на забивку сваи. Какъ она велика?

Скорость сваи предъ ударомъ $v_2 = 0$. Работа, накопленная въ бабѣ, $= \frac{1}{2} M_1 v_1^2$, Потеря работы при ударѣ $= \frac{1}{2} \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} v_1^2$. Отношеніе между этою потерею и работой $= \frac{M_2}{M_1 + M_2}$. Это отношеніе будетъ болѣе, т. е. тѣмъ невыгоднѣе, чѣмъ менѣе масса копровой бабы въ сравненіи съ массою сваи. Пусть вѣсъ копровой бабы $= 1400$ килогр.; вѣсъ сваи $= 700$ килогр., то сказанное отношеніе (такъ какъ массы пропорціональны вѣсомъ) будетъ $\frac{700}{1400 + 700} = \frac{1}{3}$, т. е. здѣсь теряется при ударѣ $\frac{1}{3}$ содержащейся въ копровой бабѣ работы. Слѣд. можно употребить самое большое $^2/_3$ этой работы на преодолѣніе сопротивленія земли.

Пусть сопротивленіе земли $= R$ килогр., углубленіе сваи при послѣднемъ ударѣ $= h$ метр. и высота паденія бабы $= H$ метр., то работа содержаяся въ бабѣ $= 1400\,H$; изъ нея переходитъ въ сваю работа $= {}^2/_3 . 1400\,H$. Работа на преодолѣніе сопротивленія R есть Rh. Не принимая во вниманіе вибрацій, между этими работами должно существовать равенство:

$$Rh = \frac{2}{3} . 1400\,H.$$

Если высота паденія $H = 3$ метр. и углубленіе сваи $h = 0{,}02$ метр., то сопротивленіе земли $R = \frac{2}{3} . 1400 . \frac{3}{0{,}02} = 1400000$ килограм. Если свая имѣетъ діаметръ 0,27 метра (слѣд. сѣченіе 572 кв. сантим.), то сопротивленіе сваи на 1 квадр. сантим. ея поперечнаго сѣченія будетъ: 140000 : 572 = 245 килогр. Для надежности нагрузка сваи должна быть самое бо́льшее $^1/_8$ вычисленнаго такимъ образомъ сопротивленія.

III. При ударѣ двухъ несовершенно упругихъ тѣлъ возстановленіе вида послѣ удара происходитъ только отчасти и отъ живой силы, употребленной во время удара, первое тѣло возвращаетъ только k_1 = ую часть, а второе k_2 = ую. Обозначимъ черезъ v_1, u_1 скорости тѣла массы

m_1 и черезъ v_2, u_2 скорости тѣла массы m_2, до и послѣ удара; тогда вся потеря живой силы выразится уравненіемъ:

$$\left.\begin{aligned}\frac{m_1}{2}(v_1^2-u_1^2)+\frac{m_2}{2}(v_2^2-u_2^2)=\frac{m^1}{2}(v_1-v_0)^2(1-k_1)\\ +\frac{m}{2}(v_2-v_0)^2(1-k_2)\end{aligned}\right\}. \quad (13)$$

Вставивъ сюда вмѣсто потерь скоростей $v_1 - v_0$ и $v_2 - v_0$ ихъ значенія изъ форм. 5 этого парагр., получимъ уравненіе:

$$\left.\begin{aligned}\frac{m^1}{2}(v_1^2-u_1^2)+\frac{m_2}{2}(v_2^2-u_2^2)=\frac{m_1m_2}{2(m_1+m_2)^2}(v_1-v_2)^2\\ \times\left\{m_2(1-k^1)+m_1(1-k_2)\right\}\end{aligned}\right\}. \quad (14)$$

Эта формула даетъ при $k = 0$ живую силу для неупругихъ тѣлъ (формула 4), причемъ также $u_1 = u_2 = v_0$; а при $k = 1$ мы получаемъ уравненіе (9) живой силы для тѣлъ совершенно упругихъ.

Для опредѣленія скоростей u_1 и u_2 мы имѣемъ уравненіе 14 и, согласно объясненію, сдѣланному при составленіи формулы (1), уравненіе:

$$m_1(v_1 - u_1) = m_2(u_2 - v_2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Рѣшивъ эти два уравненія, мы получимъ скорости послѣ удара, причемъ для простоты полагаемъ: $k_1 = k_2 = k$:

$$u_1 = \frac{m_1v_1 + m_2v_2 - m_2(v_1 - v_2)\sqrt{k}}{m^1 + m_2}; \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

$$u_4 = \frac{m_1v_1 + m_2v_2 + m_1(v_1 - v_4)\sqrt{k}}{m_1 + m_2}; \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Измѣненія скорости будутъ:

$$v_1 - u_1 = (v_1 - v_2)\frac{m_2}{m_1 + m_2}(1 + \sqrt{k}); \quad . \quad . \quad (18)$$

$$u_2 - v_2 = (v_1 - v_2)\frac{m_1}{m_1 + m_2}(1 + \sqrt{k}; \quad . \quad . \quad (19)$$

Если масса m_2 находится въ покоѣ и кромѣ того величина ея настолько большая, что передъ ней можно пренебрегать массой m^1, то:

$$v_1 - u_1 = v_1(1 + \sqrt{k}), \text{ т. е. } k = \left(\frac{u_1}{v_1}\right)^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

Но по формулѣ 5 параграфа 34, $u_1^2 = \frac{h_1}{2g}$ и $v_1^2 = \frac{h}{2g}$, гдѣ h и h_1 суть высоты, съ которыхъ тѣло должно упасть, чтобы пріобрѣсть скорости u^1 и v. Поэтому также:

$$k = \frac{h_1}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

Если поэтому опустить шаръ съ высоты h на доску изъ того же матеріала, что и шаръ, и вымѣрить высоту h_1, на которую онъ отскочитъ на-

задъ, то коэффиціентъ k для несовершенной упругости можно опредѣлить по формулѣ 21. Такимъ образомъ нашли:

для слоновой кости, $\sqrt{k} = \frac{8}{9}$; для стекла, $\sqrt{k} = \frac{15}{16}$

для пробки, стали, шерсти, $\sqrt{k} = \frac{5}{9}$.

Далѣе, для удара чугунныхъ шаровъ объ дерево, объ глину можно принять $k = o$, объ чугунъ $k = 1$.

73. Косой ударъ имѣетъ мѣсто тогда, когда линія удара отклоняется отъ направленія движенія, а **эксцентрическій ударъ**, когда центры тяжести обихъ ударяющихся тѣлъ не совпадаютъ съ линіей удара. Опредѣленіе измѣненій, которыя происходятъ въ тѣлахъ, дѣлается для этихъ случаевъ въ сущности такъ же, какъ прежде Разлагаютъ скорости въ точкахъ соприкасанія на составляющія по касательнымъ и нормалямъ къ соприкасающимся поверхностямъ; первыя не окажутъ вліянія однѣ на другія и, такъ какъ онѣ не производятъ удара, то послѣ удара онѣ неизмѣнятся; послѣднія производятъ центральный ударъ и измѣнятся такъ, какъ указано въ предъидущемъ параграфѣ. Соединивъ измѣненныя по законамъ центральнаго удара нормальныя скорости каждаго тѣла съ его касательной скоростью, мы получаемъ равнодѣйствующую скорость послѣ удара.

I. При косомъ ударѣ нужно также принять во вниманіе треніе между ударяющимися тѣлами, которое пропорціонально силѣ (какъ и при треніи, вызванномъ давленіемъ) — здѣсь мгновенной ударной силѣ, съ какой тѣла дѣйствуютъ другъ на друга; при этомъ касательныя скорости измѣняются.

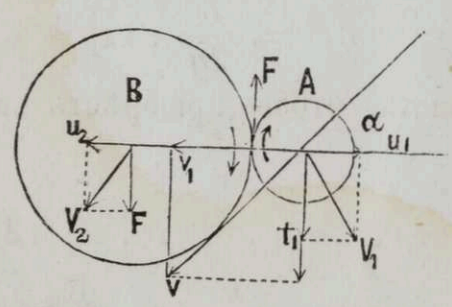
Если f коэффиціентъ тренія, m — масса, v_1, v_0 нормальныя скорости до и послѣ удара, такъ что $v_1 - v_0$ есть измѣненіе въ нормальныхъ скоростяхъ, то мгновенная сила тренія, вызванная ударомъ:

$$F = (v_1 - v_0)\, mf \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

т. е. измѣненіе въ касательныхъ скоростяхъ, произведенное треніемъ въ f разъ больше измѣненія въ нормальныхъ скоростяхъ, произведеннаго ударомъ.

Отъ тренія при косомъ ударѣ можетъ произойти вращеніе тѣла около своего центра тяжести; или, если вращеніе тѣла имѣло мѣсто, то оно (вращеніе) можетъ измѣниться.

Примѣръ. Круглое тѣло A (фиг. 160) массы m_1 двигаясь со скоростью v ударяетъ подъ угломъ α въ покоющееся тѣло B массы m_2.



фиг. 160.

Пусть скорости, нормальныя къ поверхностямъ соприкасанія, послѣ удара для обоихъ тѣлъ будутъ: u_1, u_2; тогда мы, по форм. 18 и 19 параграфа 72 для измѣненія скоростей по нормальнымъ направленіямъ, имѣемъ:

$$v_1 - u_1 = \frac{m_2 v \cos\alpha}{m_1 + m_2}(1 + \sqrt{k})$$

$$\text{и } u_2 = \frac{m_1 v \cos\alpha}{m_1 + m_2}(1 + \sqrt{k})$$

мгновенная сила тренія по формулѣ (1) (см. выше) будетъ :

$$F = \frac{m_1 m_2 v \cos\alpha}{m_1 + m_2}(1 + \sqrt{k})f.$$

Пусть r_1 радіусъ тѣла A; r_2 — радіусъ тѣла B; $r_1^2 m_1$, $r_2^2 m_2^2$ — моменты инерціи обоихъ тѣлъ относительно ихъ центровъ тяжести. Разсмотримъ сначала только тѣло A, какъ вращающееся; тогда угловая скорость, сообщенная тѣлу мгновенной силой трэнія, будетъ:

$$w_1 = \frac{Fr_1}{m_1 r_1^2};$$

и точно также для тѣла B, если допустить, что только оно вращается:

$$w_2 = \frac{Fr_2^2}{m_2 r_2^2}.$$

Общая окружная скорость, являющаяся равнодѣйствующей одновременнаго вращенія обоихъ тѣлъ, будетъ $d = w_1 r_1 - w_2 r_2$, потому что тѣла относительно точки соприкасанія вращаются въ разныя стороны; вставивъ сюда выраженіе для F, получимъ:

$$d = f\frac{v\cos\alpha}{m_1+m_2}\left(m_2\frac{r_1^2}{r_1^2} - m_1\frac{r_2^2}{r_2^2}\right)(1+\sqrt{k}).$$

Касательная скорость тѣла A есть:

$$t_1 = v(\sin\alpha - F) = v\left(\sin\alpha - \frac{m_1 m_2 \cos\alpha}{m_1+m_2}(1+\sqrt{k})f\right);$$

а тѣло B:

$$F = \frac{m_1 m_2 v\cos\alpha}{m_1+m_2}(1+\sqrt{k})f.$$

Нормальныя скорости обоихъ тѣль A и B послѣ удара по формуламъ 16 и 17 будутъ:

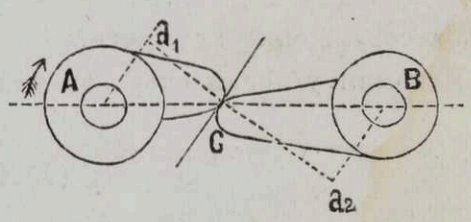
$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2\sqrt{k})}{m_1+m_2}\cdot v\cdot\cos\alpha;\quad u_2 = \frac{m_1(1+\sqrt{k})}{m_1+m_2}\cdot v\cos\alpha;$$

Величина и направленія равнодѣйствующихъ скоростей обоихъ тѣлъ послѣ удара выразятся:

$$V_1 = \sqrt{t_1^2 + u_1^2},\ tang\,\beta_1\frac{u_1}{t_2}$$ для тѣла A, и

$$V_2 = \sqrt{F^2 + u_2^2},\ tang\,\beta_2\frac{u_2}{F}$$ для тѣла B.

II. Эксцентрическій ударъ. Когда два тѣла вращающіяся около неподвижныхъ осей A и B (фиг. 161), ударяютъ одно по другому, то являются измѣненія скоростей, которыя могутъ быть опредѣлены найденными уже формулами.



фиг. 161.

Пусть W_1, v_1 угловыя скорости A и W_2, w_2 — тѣла B до и послѣ удара; J_1 — моментъ инерціи тѣла A относительно его оси, J_2 моментъ инерціи тѣла B относительно его оси. Пусть плечи дѣйствія мгновенной силы K въ точкѣ C будутъ: a_1 относительно оси A и a_2 относительно B.

Положимъ, что тѣла неупругія.

Потеря скорости для тѣла A есть $W_1 - w_2$; приращеніе скорости для тѣла B есть $w_2 - W_2$; поэтому имѣемъ:

$$(W_1 - w_1)J_1 = a_1 K \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$
$$(w_2 - W_2)J_2 = a_2 K \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Умноживъ (1) уравненіе на J_2a_1, а (2) на J_1a_2 и сложивъ потомъ оба уравненія, причемъ замѣтимъ, что скорости въ точкѣ соприкасанія равны, т. е. $w_1a_1 = w_2a_2$, получимъ:

$$K(J_1a_1^2 + J_2a_1^2) = (W_1a_1 - W_2a_2)J_1J_2;$$

опредѣливъ отсюда K и вставивъ полученное выраженіе въ уравненія (1) и (2), мы получимъ для угловыхъ скоростей послѣ удара:

$$w_1 = a_2\frac{W_1J_1a_2 + W_2J_2a_1}{J_1a^2{}_2 + J_2a_1^2} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

$$w_2 = a_1\frac{W_1J_1a_2 + W_2J_2a_1}{J_1a_2^2 + J_2a_1^2}, \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

т. е. эти угловыя скорости $w_1 : w_2 = a_1 : a_2$.

Здѣсь опять является мгновенная сила тренія Kf, которая стремится сообщить каждой точкѣ соприкасанія измѣненную касательную скорость.

Если въ выраженіи (4) параграфа 72 ввесть приведенныя скорости и массы на разстояніяхъ a_1 и a_2 отъ осей, т. е. если скорости до удара принять:

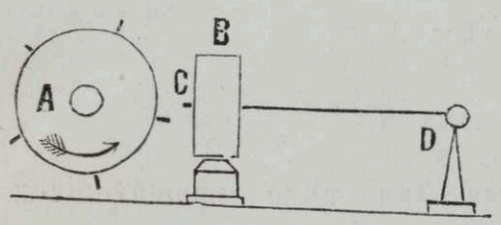
$$v_1 = a_1W_1; \quad v_2 = a_2W_2$$

и массы

$$m_1 = \frac{J_1}{a_1^2}; \quad m_2 = \frac{J_2}{a_2^2},$$

то потеря живой силы при ударѣ будетъ:

$$= \frac{J_1J_2}{J_1a_2^2 + J_2a_1^2}(a_1W_1 - a_2W_2)^2 \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$



фиг. 162.

Примѣръ. Пусть моментъ инерціи кулачнаго вала (боевой бочки) A (фиг. 162) относительно его оси — $J_1 = 20000 : g$, а моментъ инерціи лобоваго молота BD относительно его оси вращенія D — $J_2 = 75000 : g$; плечо вала AC пусть 0,6 m.; плечо молота CD — 1,8 m.; угловая скорость вала въ моментъ его прикосновенія къ молоту пусть 1,5 m. Опредѣлить величину скорости послѣ удара и потерю работы при каждомъ ударѣ, если принять, что тѣла совершенно неупруги?

Искомая угловая скорость вала, по форм. (3), причемъ $w_2 = 0$:

$$w_1 = 1{,}8 \times \frac{1{,}5 \times 20000 \times 1{,}8}{(20000 \times 1{,}8^2 + 75000 \times 0{,}6^2)} = 0{,}742 \text{ м.}$$

а угловая скорость молота:

$$w = \frac{a_1}{a_2}w_1 = \frac{0{,}6}{1{,}8} \times 0{,}742 = 0{,}281 \text{ м.}$$

Потеря работы при каждомъ ударѣ равна потерѣ живой силы; (ср. выше), слѣдовательно по форм. (5):

$$L = \frac{1}{2} \times \frac{20000 \times 75000}{20000 \times 3{,}24 + 75000 \times 0{,}36} \times \frac{(0{,}6 \times 1{,}05)^2}{g} = 33 \text{ клгрмтр.}$$

При средней угловой скорости около 0,9 м. валъ поворачивается на 52° въ секунду, слѣдовательно для одного оборота нужно $\frac{360}{52} = 7$ секундъ. Если валъ имѣ-

етъ 5 кулаковъ, то въ 7 секундъ онъ производитъ на молотъ 5 ударовъ, т.-е. въ секунду $\frac{5}{7}$ удара; такимъ образомъ потеря работы въ каждую секунду есть $\frac{165}{7} = 23{,}57$ клгрмтр. или приблизительно $\frac{23{,}57}{75} = \frac{1}{3}$ лошадиной силы.

c. Упругость и крѣпость матеріаловъ.

74. Упругость, предѣлъ упрогости; крѣпость, коэффиціентъ крѣпости; допускаемое напряженіе; коэффиціентъ прочности. Упругость есть та сила, съ которой тѣло сопротивляется измѣненію своей формы или та сила, которая стремится возстановить прежнюю форму, коль скоро внѣшнія силы перестали дѣйствовать. Совокупность дѣйствующихъ на тѣло внѣшнихъ силъ называютъ нагрузкой тѣла. Если по устраненіи нагрузки, благодаря упругости тѣла, его прежняя форма, возстановляется вполнѣ, то говорятъ что тѣло совершенно упруго; если же этого нѣтъ, т. е. если измѣненіе формы тѣла по снятіи нагрузки исчезаетъ не вполнѣ, то говорятъ, что тѣло не совершенно упруго. Наибольшее измѣненіе формы, которое тѣло можетъ вынести отъ постепенной нагрузки и которое съ устраненіемъ груза исчезаетъ, называется предѣломъ упругости; и нагрузка при которой достигается этотъ предѣлъ, называется величиной упругости. Впрочемъ вмѣсто этого названія обыкновенно употребляютъ слово предѣлъ упругости. Далѣе мы будемъ слѣдовать этому же обычаю, при чемъ всегда легко распознать — въ какомъ смыслѣ употреблено это слово.

Само собой разумѣется, что одно и другое зависятъ одинаково какъ отъ свойствъ матеріала тѣла, такъ и отъ формы и величины его (тѣла).

Если нагрузка переходитъ предѣлъ упругости, то отдѣльныя матеріальныя точки получаютъ остающееся перемѣщеніе, которое по большей части обусловливаетъ также измѣненіе въ первоначальномъ сцѣпленіи. Та часть измѣненія формы, которая по устраненіи нагрузки, исчезаетъ, называется упругимъ измѣненіемъ; та же, которая остается, называется остающимся или постояннымъ.

Если, наконецъ, отъ постоянно увеличивающейся нагрузки и происходящаго отъ этого увеличивающагося измѣненія формы тѣла произойдетъ разрывъ матеріальныхъ частицъ т. е. наступитъ поломка тѣла, то въ мѣстѣ разрыва сила сцѣпленія матеріала достигаетъ въ моментъ разрыва величины такъ называемой крѣпости.

Слѣдовательно крѣпость есть наибольшее сопротивленіе тѣла разрыву своихъ частицъ, вызванное нагрузкой; другими словами крѣпость тѣла есть сила, при дѣйствіи которой по истеченіи весьма непродолжительнаго времени разрушается сцѣпленіе частицъ тѣла.

Смотря по роду нагрузки и получаемаго отъ этого измѣненія формы различаютъ нѣсколько родовъ упругости и крѣпости, какъ напр. упругость и крѣпость растяженія, сжатія, срѣзыванія или скалыванія, сгибанія и крученія.

II. Задача ученія объ упругости заключается вообще: въ опредѣленіи величины нагрузки, которую можетъ выдержать тѣло (брусъ) съ достаточной надежностью, или въ опредѣленіи размѣровъ, (будемъ называть

нагруженное тѣло брусомъ), какіе долженъ получить брусъ, чтобы противустоять дѣйствію данной нагрузки. Второстепенную задачу ученія объ упругости составляетъ опредѣленіе измѣненія формы, вызываемое нагрузкой въ брусѣ.

Такъ какъ всѣ роды упругости можно свести на упругость при растяженіи и сжатіи, то въ основаніе теоріи упругости положенъ законъ измѣненія формы, происходящаго (измѣненія) въ однородной призмѣ, когда по длинѣ ея на нее дѣйствуетъ растягивающая или ожимающая сила. Законъ этотъ слѣдующій: Удлиненіе или укороченіе призмы (до предѣла упругости) прямо пропорціонально ея осевой нагрузкѣ P и длинѣ ея l и обратно пропорціонально площади поперечнаго сѣченія призмы F и зависящему отъ свойствъ матеріала призмы коэффиціенту, такъ называемому модулю упругости E.

Обозначая это измѣненіе длины черезъ λ, получимъ, на основаніи сказаннаго,

$$\lambda = \frac{P \cdot l}{F \cdot E} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

При $P=1$ и $F=1$, получимъ $\lambda = \frac{l}{E}$ или $E = \frac{l}{\lambda} = \frac{1}{\left(\frac{\lambda}{l}\right)} = \frac{1}{\varepsilon}$ (2)

т. е. модуль упругости есть обратная величина относительнаго измѣненія длины, вызываемаго въ призмѣ, площадь поперечнаго сѣченія которой есть единица, растягивающей или сжимающей силой равной единицѣ. (Относительно удлиненіе есть отношеніе удлиненія бруска къ его первоначальной длинѣ или удлиненіе на единицу длины). Иногда модулемъ упругости называютъ величину усилія, удвоивающаго длину бруска, площадь поперечнаго сѣченія, котораго равна единицѣ, если-бы предѣлъ упругости былъ такъ далекъ. Ибо если бы прутъ, котораго сѣченіе = 1, могъ быть растянутъ или сжатъ на столько, чтобы λ сдѣлалось равнымъ первоначальной длинѣ l тѣла, тогда $P = E$. Слѣдовательно этотъ модуль есть сила, которую слѣдуетъ выражать въ тѣхъ же единицахъ, какъ P. Если примемъ $F=1$ то P относится къ E какъ удлиненіе полосы къ ея первоначальной длинѣ.

Примѣръ 1. По Годгкинсону сила въ 187 кило вытягиваетъ желѣзный прутъ 1 метръ длиною и 1 кв. сантиметръ поперечнаго сѣченія на 0,082 миллиметра. Какъ великъ коэффиціентъ упругости для этого желѣза?

$$E = P\,\frac{l}{\lambda} = 187\,\frac{1}{0{,}000082} = 2280478 \text{ в. килограм. и сантим.}$$

Примѣръ 2. Если четыре желѣзные стержня гидравлическаго пресса имѣютъ длину по 175 сантиметр. и подвергаются растягиванію 1000 кило на 1 кв. сантим. какъ сильно вытягиваются эти стержни при этой растягивающей силѣ?

Коэффиціентъ упругости на 1 кв. ст. поперечнаго сѣченія $E = 2000000$ кило. Слѣдовательно удлиненіе $\lambda = \frac{P \cdot l}{E} = \frac{1000 \cdot 175}{2000000} = 0{,}0875$ ст.

Но съ измѣненіемъ длины реберъ призмы въ осевомъ направленіи (въ направленіи дѣйствующей силы) связано также измѣненіе поперечнаго

сѣченія, а слѣдовательно и сторонъ поперечнаго сѣченія. При осевой растягивающей силѣ ребра. У поперечнаго сѣченія укорачиваются, наоборотъ, при осевой сжимающей силѣ ребра удлиняются. Законъ для этихъ поперечныхъ измѣненій длины таковъ же, какъ и для продольныхъ, только модуль упругости G въ поперечномъ направленіи почти въ 3 раза менѣе модуля упругости для продольнаго направленія, такъ что поперечное измѣненіе длины при остальныхъ равныхъ условіяхъ почти въ 3 раза меньше продольнаго.

Говорятъ обыкновенно о модулѣ упругости для продольнаго направленія; (который для растяженія и сжатія принимается одинаковымъ), численная величина этого модуля зависитъ, понятно, не только отъ матеріала но и отъ выбора единицы силы и единицы площади.

Но также $E = P : \varepsilon$ т. е. модуль упругости есть отношеніе между растягивающимъ или сжимающимъ P на единицу площади поперечнаго сѣченія бруска къ удлиненію или сжатію ε единицы длины, вызываемому данною силою, когда предѣлъ упругости еще не достигнутъ и когда сила дѣйствуетъ по направленію продольной оси бруска.

И такъ если полоса съ сѣченіемъ $= 1$ кв. мм. и длиною l нагружена вѣсомъ P, то чрезъ нѣкоторое время наступаетъ равновѣсіе между внѣшнею силою P и внутренними частичными силами, растяженіе достигаетъ нѣкоторой величины λ, предполагая, что предѣлъ упругости не былъ перейденъ. Поэтому уравненіе

$$P = E\frac{\lambda}{l}$$

выражаетъ состояніе равновѣсія между внѣшними и внутренними силами. Слѣдовательно $E\frac{\lambda}{l}$ представляетъ дѣйствіе частичныхъ силъ и потому эту величину $E\frac{\lambda}{l} = S$ называютъ также **напряженіемъ**, которое испытываетъ волокно сѣченіемъ $= 1$ кв. мм. подъ вліяніе внѣшней силы P.

Если имѣемъ полосу съ сѣченіемъ F кв. мм., то ее можно разсматривать востоящее изъ F полосокъ каждая съ сѣченіемъ въ 1 кв. мм. Если каждая такая полоска должна получить напряженіе S, то очевидно, что это можетъ произойти отъ дѣйствія груза

$$P = FS.$$

Отсюда слѣдуетъ, что растягивающая сила прямо пропорціональна сѣченію полосы. Слѣдовательно для полученія нѣкотораго удлинненія она должна быть тѣмъ больше, чѣмъ больше сѣченіе полосы.

Напряженіе матеріала есть отнесенная къ единицѣ площади величина силы упругости, проявляющейся между частицами тѣла, при дѣйствіи на него внѣшнихъ силъ. **Предѣлъ упругости** есть напряженіе матеріала, при **которомъ постоянныя измѣненія формы тѣла** дѣлаются замѣтными. **Коеффиціентомъ крѣпости**, а также полнымъ или временнымъ сопротивленіемъ матеріала называетея то на-пряженіе матеріала, при которомъ нарушается связь между частицами тѣла.

III. Можно предполагать, что пока тѣло сохраняетъ способность воспринимать свою первоначальную форму по устраненіи нагрузки,

то не происходитъ измѣненія въ состояніи матеріала; слѣдов. Чтобы тѣло могло вынести нагрузку съ достаточной надежностью (по отношенію къ продолжительности времени), нагрузка не должна переходить за предѣлъ упругости, а въ большой части случаевъ даже не должна достигать его; потому что тѣла подвержены кромѣ нагрузки еще мгновеннымъ силамъ, ударамъ, которыя часто столь же трудно ввести въ вычисленіе, какъ и вредныя атмосферныя вліянія, а нхъ нужно имѣть въ виду. Наконецъ потому что продолжительное дѣйствіе силъ производитъ измѣненіе въ состояніи матеріала. Существуетъ поэтому правило при постройкахъ, что наибольшія нагрузки на отдѣльныя части постройки никогда не должны достигать ихъ предѣла упругости. Стало быть допускаемая нагрузка всегда должна составлять только часть соотвѣтственнаго предѣла упругости; величина этой силы S, отнесенной къ единицѣ площади поперечнаго сѣченія, называется коеффиціентомъ прочнаго сопротивленія матеріала или также допускаемымъ напряженіемъ.

Изъ многочисленныхъ опытовъ найдено, что отношеніе предѣла упругости коеффиціенту крѣпости находится между 0,7 и 0,4, такъ что среднимъ числомъ оно есть 0,5. Для дерева это отношеніе равно около 0,3. Но такъ какъ предѣлъ упругости не былъ опредѣленъ для всѣхъ родовъ строительныхъ мате- ріаловъ, то допускаемое напряженіе матеріала (на единицу площади) или прочное сопротивленіе его обыкновенно задается въ видѣ цѣлой части отъ коеффиціента крѣпости и число на которое нужно раздѣлить коеффиціентъ крѣпости для того, чтобы получилось допускаемое напряженіе матеріала на единицу площади, называется коеффиціентомъ прочности. Для тѣлъ металлическихъ коеффиціентъ прочности берется отъ 3 до 6, для дерева отъ 6—12, для камня отъ 20 до 30. Коеффиціентъ прочности выбирается тѣмъ большимъ, чѣмъ измѣняется нагрузка тѣла, чѣмъ большимъ ударнымъ силамъ оно подвергается и чѣмъ болѣе колеблется коеффиціентъ крѣпости матеріала, изъ котораго тѣло сдѣлано.

Слѣдующая таблица даетъ обычныя величины коеффиціента прочности для употребительнѣйшихъ строительныхъ матеріаловъ въ случаяхъ разныхъ родовъ нагрузки *).

Матеріалъ.	Временныя постройки.	Гражданскія постройки (зданія).	Мостовыя постройки.	Постройки, подверженныя сильн. ударамъ.
Камень	15	20	30	35
Дерево.	6	10	12	15
Чугунъ	4	6	7	10
Желѣзо (ковкое).	3	4	5—6	7—8
Листовое желѣзо				
Желѣзная проволока. . .				
Литая сталь				

*) Въ новѣйшее время многими инженерами были предложены другіе способы опредѣленія допускаемаго напряженія въ строительныхъ матеріалахъ для разныхъ нагрузокъ; объ этомъ упоминается въ прилагаемой статьѣ „крѣпость работы“.

Слѣдующая таблица даетъ величины допускаемой нагрузки, предѣла упругости, коэффиціентъ крѣпости и модуля упругости для различныхъ матеріаловъ въ килограммахъ на квадратный сантиметръ, а также относительное измѣненіе длины $\lambda : l = \varepsilon$ при предѣлѣ упругости.

Примѣчаніе. Цифры предыдущей таблицы суть среднія изъ большаго числа опытовъ и могутъ значительно измѣняться; въ особенности это относится къ стали. *)

Такъ напримѣръ выдѣлываютъ сталь, почти совершенно обезуглероженную, которая разрывается около при 42 клгр. на кв. мм.; тогда какъ сталелитейный заводъ въ Ферминьи доставляетъ проволоку, крѣпость разрыва которой достигаетъ до 180 клгр. и 220 клгр. на кв. мм.

При большихъ работахъ слѣдуетъ опредѣлять каждый разъ непосредственными опытами и притомъ по возможности надъ самыми частями сооруженія, а не надъ образцовыми брусками, цифры крѣпости матеріаловъ, которые употребляются въ дѣло, въ особенности коэффиціенты удлиненія (упругаго) и предѣлъ упругости.

Опыты, на основаніи которыхъ составлена таблица, были сдѣланы вообще надъ брусками или проволоками въ томъ видѣ, какъ они выдѣлываются въ заводѣ, не принимая во вниманіе никакого поврежденія вслѣдствіе обработки, и при обыкновенной температурѣ. Но различныя обстоятельства доказываютъ, что свойства металла измѣняются въ отдѣльныхъ частяхъ въ особенности если онѣ подвергались кованію, клепанію и значительному изгибанію. Поэтому тѣмъ полезнѣе будетъ найти, предварительно посредствомъ опытовъ надъ частями подобными или похожими на устраиваемыя, тѣ коэффиціенты, на которые можно съ увѣренностію расчитывать и которые часто оказываются гораздо меньше цифръ, обыкновенно допускаемыхъ.

Вліяніе температуры на крѣпость металловъ. Относительно этого вопроса не имѣется достаточныхъ данныхъ для установленія точныхъ законовъ. Кажется, что крѣпость вообще уменьшается по мѣрѣ увеличенія температуры. Что же касается дѣйствія холода на желѣзо и сталь, то крѣпость растяженія, повидимому, не уменьшается значительно вслѣдствіе самыхъ низкихъ температуръ, какія наблюдались въ Швеціи (Стифъ). Но сопротивленіе удару уменьшается значительно (Сандбергъ) такъ-же какъ ковкость и гибкость.

Слѣдующая таблица резюмируетъ опыты Кольмана надъ желѣзомъ и сталью Бессемера; крѣпость металла при нулѣ градусовъ принята=100.

Температура.	Волокнистое желѣзо.	Мелкозернистое желѣзо.	Сталь Бессемера.
0°	100	100	100
100	100	100	100
200	95	100	100
300	90	97	94
500	38	44	34
700	16	23	18
900	6	12	9
1000	4	7	7

*) Смотри: Результаты новѣйшихъ опытовъ надъ сопротивленіемъ желѣза и стали; сообщеніе профессора М. М. Черепашенскаго въ „Извѣстіяхъ Политехническаго Общества“, состоящаго при Императорскомъ Московскомъ Техническомъ училищѣ. Вып. V.

Таблица коэффиціентовъ упругости и крѣпости для различныхъ матеріаловъ.

МАТЕРІАЛЪ.	Килограммы на кв. мм. **)														
	Допускаемое напряженіе.												Коэффиціентъ крѣпости.		
	Растяженіе S			Сжатіе. S_1		Скалываніе S_2			Сгибаніе. S_3			Крученіе. S_4			
	a	b	c	a	b	a	b	c	a	b	c	a	b	c	Растяженіе K
Полосовое желѣзо *)[2]. .	9	6	3	9	6	7,2	4,8	2,4	9	6	3	3,6	2,4	1,2	38
Листовое желѣзо *) ‖[1].	9	6	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33
Листовое желѣзо *) ⊥. .	—	—	—	—	—	7,2	4,8	2,4	—	—	—	—	—	—	30
Сталь бессемера *) . .	13,5	9	4,5	13.5	9	10,8	7,2	3,6	13,5	9	4,5	5,4	3,6	1,8	55
Сталь литая *)	15	10	5	15	10	12	8	4	15	10	5	6	4	2	75
Сталь пружинная литая *) незакаленная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36	—	—	—	—	—
Сталь пружинная литая закаленная.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	43	—	—	—	—	—
Чугунъ *).	3	2	1	9	6	—	1,6	—	4,5[3])	3[3])	1,5[3])	1,5	1	0,5	12,5
Фосфористая бронза *)[4]) .	7,5	5	2,5	—	—	—	—	—	7,5	5	2,5	3	2	1	40
Пушечная бронза *)[4] . .	3	2	1	—	—	—	—	—	3	2	1	—	—	—	20
Мѣдь листовая прокованая*).	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Мѣдь листовая отожженная.	2,5	—	—	2,0	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	21
Мѣдная проволока . . .	6,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42
Латунь.	2,5	—	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	12,4
Латунная проволока. . .	6,6	—	—	—	—	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—	36,5
Цинкъ литой	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,26
Свинецъ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3
Свинцовая проволока . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,2
Олово	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5
Аллюминій	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20,3
Ясень ‖	1,2	—	—	0,66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12
Ясень ⊥	—	—	—	0,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Дубъ ‖	1,1	—	—	0,66	—	0,07	—	—	—	—	—	—	—	—	11
Дубъ ⊥	—	—	—	0,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5
Букъ ‖	1,2	—	—	0,66	—	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	11,7
Букъ ⊥	—	—	—	0,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,73
Сосна ‖	0,7	—	—	0,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,3
Сосна ⊥	—	—	—	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,48
Пеньковый канатъ. . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5
Кожаный ремень . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3
Стекло	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,48
Базальтъ.	—	—	—	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Гнейсъ и гранитъ. . .	—	—	—	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Известнякъ.	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Песчаникъ	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,6
Хорошій кирпичъ	—	—	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Обыкновенный кирпичъ .	—	—	—	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Цементный растворъ . .	0,02	—	—	0,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Известковый растворъ. .	—	—	—	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Предѣлъ упругости.				Модуль упругости.		Удлиненіе при предѣлѣ упругости.	
Растяженіе.	Сжатіе.	Скалываніе.	Крученіе.	Растяженіе и сжатіе.	Скалываніе.	Растяженіе.	Сжатіе.
T	T_1	T_2	T_3	E	G	σ	σ_1
14	14	—	—	20000	8000	0,0007	0,0007
—	—	—	—	20000	8000	0,0008	0,0008
—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	14,5	21500	8600	0,0022	—
—	—	—	—	21500	8600	—	—
—	—	—	—	21500	8600	—	—
7,5	15	5,6	—	10000	4000	0,00075	0,0015
13	—	—	—	9500	3800	0,00137	—
3,85	—	—	—	7000	2800	0,00055	—
14	14	—	—	11100	4400	0,00126	0,00126
3	2,75	2,0	—	11100	4400	0,00027	0,00025
12	—	—	—	12100	—	0,001	—
4,85	—	3,64	—	6400	2400	0,00076	—
13,3	—	—	—	9870	—	0,00135	—
2,3	—	—	—	9500	3562	0,00024	—
1,05	—	—	—	500	187,5	0,0021	—
0,47	—	—	—	700	262,5	0,00067	—
—	—	—	—	4000	1500	—	—
—	—	—	—	6750	2531	—	—
2,56	2	—	—	985	—	0,0026	—
—	—	—	—	—	—	—	—
2,7	2	—	—	1170	80	0,00233	—
—	—	—	—	—	—	—	—
1,6	2	—	—	921	120	0,00176	—
—	—	—	—	—	—	—	—
2,56	—	—	—	1200	70	0,00213	—
—	—	—	—	—	—	—	—
1,6	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	7000	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—

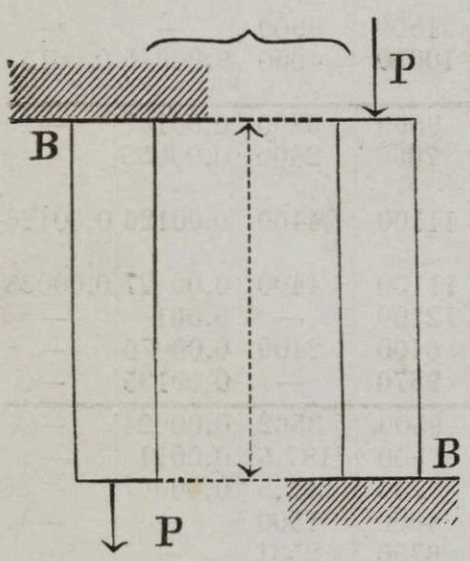
Допускаемое напряженіе надо брать изъ столбца a при покоющейся нагрузкѣ; изъ b, если напряженія, вызываемыя нагрузкою, поперемѣнно возрастаютъ отъ нуля до нѣкоего максимума и снова убываютъ до нуля; изъ столбца c если измѣненіе нагрузки постоянно колеблется между нѣкоторымъ положительнымъ максимумомъ и нѣкоторымъ, такимъ же по абсолютной величинѣ, отрицательнымъ максимумомъ.

*) По Баху, Элементы машинъ.—**) Кромѣ величинъ въ двухъ послѣднихъ столбцахъ числа таблицы, если ихъ умножить на 100, дадутъ клгр. на кв. см.—[1]) ‖ обозначаетъ направленіе прокатки или волоконъ, ⊥ перпендикулярно къ нимъ.—[2]) При отличномъ желѣзѣ величины допускаемаго напряженія могутъ быть увеличины на $^1/_3$.—[3]) При вполнѣ безпорочной отливкѣ эти величины могутъ быть увеличены на $^1/_3$.—[4]) Если можно допустить высокую величину предѣла упругости, то нагрузки могутъ быть приняты болѣе на $^1/_2$.

По Ферберну крѣпость желѣза не уменьшается до 366°. По Барнаби при 400° крѣпость стали Бессемера была на 10 клгр. на кв. мм. больше, чѣмъ при обыкновенной температурѣ. Для стали Сименсъ Мартена увеличеніе крѣпости было менѣе велико.

Эти результаты весьма важны для паровыхъ котловъ: мы видимъ, что хотя крѣпость металла не уменьшается значительно при температурахъ, соотвѣтствующихъ общепринятому давленію пара, то напротивъ она весьма сильно понижается при 500°, каковая температура можетъ быть достигнута случайно въ нѣкоторыхъ частяхъ паровиковъ вслѣдствіе небрежности или недосмотра.

По Найстрому (американскіе опыты).



Температура.	Желѣзо.	Мѣдь.
0	100	100
37,7	106	98,6
93,3	114	94,5
149	119,6	90
205	122	83,6
260	120,1	77,2
316	114	70,1
370	105	61,3
427	94,1	52,4
483	81,9	42,7
540	67,3	33,5
650	45,5	21,3
820	28,2	9,1
1090	19,8	0
1370	4,5	„

Для красной мѣди, по Бодримону, если крѣпость при нулѣ принять за 100, то она при 100° будетъ 87, и при 200 будетъ 75,5. По Ферберну при 365° она дѣлается 0, 66.

IV. Классификація желѣза по обществу желѣзнодорожныхъ техниковъ въ Германіи. Пусть z_1 наименьшая крѣпость растяженія, s относительное сжатіе поперечнаго сѣченія при разрывѣ.

	въ клгр. на кв. см.
A. Желѣзо полосовое или въ брускахъ.	
I. Сортъ	$z_1=3800$; $s=40\%$
II. Сортъ	$z_1=3500$; $s=25$ „
B. Листовое желѣзо	
I. Сортъ: по направленію прокатки	$z_1=3600$; $s=25\%$
поперекъ къ направ. прок.	$z_1=3200$; $s=15$ „
II. Сортъ: по направленію прокатки	$z_1=3300$; $s=15$ „
поперекъ прокатки	$z_1=3000$; $s=9$ „
C. Бессемеровская сталь, литая сталь, сталь Мартена.	
I. Сортъ: твердая	$z_1=6000$; $s=25\%$
средняя	$z_1=5500$; $s=35$ „
мягкая	$z_1=4500$; $s=45$ „
II. Сортъ: болѣе твердый сортъ	$z_1=5500$; $s=20$ „
болѣе мягкій	$z_1=4500$; $s=30$ „

По *Fehland'y* среднее временное сопротивленіе желѣзныхъ листовъ среднихъ размѣровъ и ихъ удлиненіе ε на рейнсковестфальскихъ заводахъ на квадр. миллиметръ:

	K	ε
Лучшее листовое коксовое	$34/_{32}$ кило	$8/_{6}$ %
Мелкозернистое.	$36/_{34}$ „	$12/_{10}$ „
„ древесноугольное.	$37/_{35}$ „	$15/_{12}$ „
„ Low-Moor.	$38/_{36}$ „	$20/_{15}$ „

Верхнія числа относятся къ продольному (т. е. по направленію прокатки) направленію, нижнія къ поперечному. Большею частію гарантируютъ для k на 1—2 кило менѣе, но въ видѣ исключенія доставляютъ листы съ $k = 40—45$ килогр.

Сопротивленіе волнистаго желѣза съ завода Шульцъ, Кнаудтъ и C^0 въ Ессенѣ. K_1 — сжатіе, S обозначаетъ въ мѣстахъ сварки.

Вдоль	K	ε.	K_1	Поперекъ	K	ε.	K_1
	36,95	22,5	34		34,6	15	33
S	31,37	8,6	36		33,89	12,75	21
S	31,4	11,0			35,57	17	33
	36,14	14,0	39		35,11	18	41
					36,11	11,5	31
					30,86	6,5	12

Крѣпость въ мѣстахъ сварки понижается почти до 85% крѣпости листа. Наибольшая разность въ толщинѣ листовъ 1,15 (0,2 до 1,15), среднее 0,7 миллиметр.

Въ краснокалильномъ жару листовое желѣзо очень быстро теряетъ въ крѣпости. Листъ съ $k = 32,1$ при 12°C, нагрѣтый до красна и медленно охлажденный водою, выдерживаетъ 32,2 килогр.; напротивъ того, нагрѣтый во время дѣйствія нагрузки: темнобурый 16,1; бурокрасный 14,6; вишневокрасный 7,3 и Low-Moor 8,7 килогр.

V. Крѣпость растворовъ. Растворъ воздушный изъ жирной извести и песка, черезъ 14 лѣтъ, крѣпость разрыва $K = 0,04$ кило и раздробленію $K_1 = 0,35$ кило на квадр. миллиметръ.

Сцѣпленіе воздушнаго раствора съ камнями известковыми или плитой чрезъ $1/_2$ года — 0,01 до 0,018 кило, а съ кирпичемъ черезъ 3 недѣли — 0,0056 кило и черезъ $1/_2$ года — 0,022 до 0,025 кило.

Сопротивленіе гидравлическаго раствора увеличивается съ возрастаніемъ его гидравлическихъ свойствъ и уменьшается съ увеличеніемъ примѣси песка; окончательной своей твердости достигаетъ почти черезъ 4 года по употребленіи въ дѣло.

Для хорошей гидравлической извести, или для раствора изъ жирной извести съ кирпичною цемянкою, $K = 0,025$ кило, и $K_1 = 0,45$ до 0,50 кило.

Для цемента портландскаго чистаго, сопрот. разрыву, черезъ 7 дней по затвореніи и сохраненіи подъ водою, $K = 0,25$ кило, а отъ прибавленія песка уменьшается; такъ обладаетъ растворъ, въ которомъ на 1 об. цемента приходится песка: 1 об. — $3/_4$, 2 об. — $1/_2$, 3 об. — $1/_3$, 4 об. — $1/_4$, 5 об. — $1/_6$, крѣпости чистаго цемента.

Романъ-цементъ обладаетъ сопротивленіемъ почти въ $1/_3$ портландскаго и даетъ хорошіе результаты при затвореніи его съ пескомъ, принимая на 1 об. цемента не болѣе $2^1/_2$ об. песка.

75. Упругость и крѣпость растяженія и сжатія прямыхъ брусьевъ. (Называвшаяся прежде абсолютной и обратной крѣпостью).

I. Призматическій брусъ (фиг. 163 и 164). Помощію формулы $P = SF$ мы можемъ при данномъ поперечномъ сѣченіи вычис-

лить растягивающую или сжимающую нагрузку на тѣло такимъ образомъ, что отъ нея произойдетъ изломъ или же достигнется предѣлъ упругости; для этого нужно только вмѣсто S поставить величины K или K_1 коеффиціента крѣпости или же числа T или T_1 предѣла упругости. Но въ практикѣ всегда требуется либо такъ опредѣлить размѣры тѣла, чтобъ оно могло выдерживать данную нагрузку съ достаточною прочностію или же при одинаковой прочности и данныхъ размѣрахъ поперечнаго сѣченія найти соотвѣтствующую нагрузку. Но брусъ, подвергающійся растяженію или сжатію, можетъ выдержать данную нагрузку тѣмъ надежнѣе, чѣмъ менѣе напряженіе, испытываемое каждымъ отдѣльнымъ волокномъ. Поэтому поперечное сѣченіе F вычисляется въ предположеніи нѣкотораго напряженія S, которое берется тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе должна быть надежность относительно излома тѣла отъ данной наргузки. Поэтому берутъ

$$S = \frac{K}{\sigma} \text{ для растяженія или } S_1 = \frac{K_1}{\sigma} \text{ для сжатія}$$

слѣд. принимаютъ напряженіе равнымъ нѣкоторой части коеффиціента крѣпости. Число σ назыв. коеффиціентомъ прочности и всегда болѣе единицы.

Поэтому тѣло, коего поперечное сѣченіе F, можетъ выдерживать съ σ—кратною прочностію нагрузку P, которая опредѣляется изъ

$$P = F\frac{K}{\sigma} \text{ для растяженія или } P = F\frac{K_1}{\sigma} \text{ для сжатія.}$$

Измѣніе длины λ, которое отъ этого получается, опредѣляется изъ $E\frac{\lambda}{l} = S$; откуда

$$\lambda = \frac{l}{E} \cdot \frac{K}{\sigma} \text{ (растяженіе) или } \lambda_1 = \frac{l}{E}\frac{K_1}{\sigma} \text{ (сжатіе)}$$

Для различныхъ частей машинъ слѣдуетъ вообще брать особую величину S какъ сказано выше. Какъ показываетъ таблица, слѣдуетъ держаться около половины предѣла упругости.

Если длина разсматриваемаго нагруженнаго бруса значительная и если γ вѣсъ единицы его объема, то кромѣ силы P на брусъ, при вертикальномъ его положеніи, дѣйствуетъ еще вѣсъ $G = \gamma Fl$, такъ что для крайняго поперечнаго сѣченія B мы будемъ имѣть уравненіе: $P + \gamma Fl = SF$, откуда сила

$$P = F(S - \gamma l) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

или поперечное сѣченіе $F = \frac{P}{S - \gamma l}$ $\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ (4)

Полное удлиненіе, и также укороченіе, въ этомъ случаѣ будутъ:

$$\lambda = \frac{l}{EF}\left(P + \frac{G}{2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Если брусъ настолько коротокъ, что вѣсомъ его G въ сравненіи съ нагрузкой P можно пренебречь, то

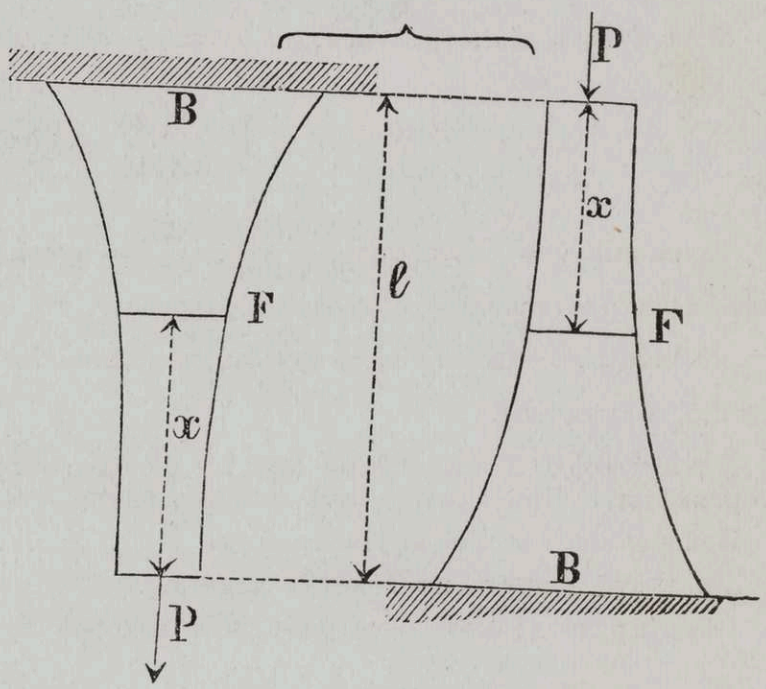
$$P = SF \ldots (6) \quad F = \frac{P}{S} \ldots (7) \text{ и } \lambda = \frac{Pl}{EF} \ldots\ldots (8)$$

II. Поперечное сѣченіе бруса перемѣнное; если величины поперечныхъ сѣченій таковы, что всѣ они испытываютъ одно и то же напряженіе при растяженіи или сжатіи (на единицу площади), то брусъ называется брусомъ равнаго сопротивленія (равной крѣпости) растяженію и сжатію и отличается тѣмъ, что на него затрачивается наименьшее количество матеріала.

Пусть F_0 поперечное сѣченіе при A (фиг. 165—166), то по теоріи упругости*) для произвольнаго сѣченія F, на разстояніи x отъ A имѣемъ формулу:

$$F = F_0 e^{\frac{\gamma x}{S}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

гдѣ $e = 2{,}71828 \ldots$ есть основаніе натуральныхъ логариѳмовъ, а γ удѣльный вѣсъ матеріала, а F_0 опредѣляется изъ $F_0 = \frac{P}{S}$.



Фиг. 165—166.

Измѣненіе длины въ этомъ случаѣ будетъ: $\lambda = \frac{l.S}{E}$ . . . . . (10)

Такъ какъ на практикѣ трудно выполнить это постоянное измѣненіе поперечнаго сѣченія, то изготовляютъ брусъ равнаго сопротивленія приблизительно, т. е. составляютъ его изъ нѣсколькихъ призматическихъ частей такъ, чтобы въ крайнихъ поперечныхъ сѣченіяхъ господствовало одно и тоже напряженіе матеріала (фиг. 167—168).

Пусть l_1, l_2, $_3$ . . . длины отдѣльныхъ призмъ, F_1, F_2, F_3 . . . ихъ поперечныя сѣченія, P осевая нагрузка. Будемъ имѣть:

$$F_1 = \frac{P}{S - \gamma l_1}, \quad F_2 = \frac{Pk}{(S-\gamma l_1)(S-\gamma l_2)}, \quad F_3 = \frac{P.S^2}{(S-\gamma l_1)(S-\gamma l_2)(S-\gamma l_3)}$$

и т. д., отсюда вообще. $$F_n = \frac{P.S^{n-1}}{(S-\gamma l_1)(S-\gamma l_2) \ldots (S-\gamma l_n)} \quad . \quad (11)$$

Въ частномъ случаѣ, когда $l_1 = l_2 = l_3 \ldots = l_n$ будемъ имѣть:

$$F_n = \frac{P}{S}\left(\frac{S}{S-\gamma l}\right)^n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Примѣчаніе. Само собой понятно, что всѣ размѣры длинъ и поперечныхъ сѣченій должны быть отнесены къ одной и той же единицѣ вѣса. Напр. выбравъ 1 сантиметръ за единицу длины, и 1 килограммъ за единицу силы, мы должны выражать l въ сантим., F въ □ ст., S въ килогр. на □ ст. γ въ килогр. на куб. сантим. и P въ килогр.

*) См. объ этомъ въ Baumeckanik von Ott. II. Theil, S. 14. (Лекціи по строительной Механикѣ, Бѣлелюбскаго).

Примѣръ 1. Каковъ будетъ діаметръ цилиндрической желѣзной тяги (длиною 35 метр.), если она при 8-кратной прочности нагружена грузомъ въ 10000 кило (100 тоннъ).

По уравненію (7) $F = \frac{P}{S}$. Здѣсь $P = 10000$ килогр. и при коеффиціентѣ прочности 8, $S = \frac{K}{\sigma} = \frac{4000}{8} = 500$ на □ ст., слѣдовательно $F = \frac{10000}{500} = 26$ кв. сант.

Если d есть діаметръ тяги, то $F = \frac{\pi}{4} d^2 = 20$, откуда

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 20}{3{,}1416}} = 5{,}04 \text{ ст.}$$

Удлиненіе $\lambda = \frac{l}{E} S = \frac{3500.500}{2000000} = \frac{35}{40} =$ почти 0,9 сантиметра. Если нужно этотъ стержень растягивать до предѣла упругости, то нужно взять нагрузку $P_0 = F.T = 20.1400 = 28000$ килогр.; при этомъ удлиненіе было бы $\lambda = \frac{l}{E}.T = \frac{3500.1800}{2000000} = 2{,}5$ сантиметра.

Примѣръ 2. Желѣзный прутъ однообразнаго поперечнаго сѣченія подвѣшенъ вертикально. При какой длинѣ онъ разорвется отъ собственнаго его вѣса?

Поперечное сѣченіе прута примемъ . . . . . = 1 □ сантим.
Вѣсъ этого прута на 1 метръ длины . . . . . = 0,78 килогр.
Вѣсъ прута длиною x метровъ, при которой прутъ долженъ разорваться . . . . . = $0{,}78x$ килогр.

Коеффиціентъ крѣпости растяженія для желѣза примемъ = 4000 килограммовъ. Вѣсъ $0{,}78x$ долженъ быть равенъ этому коеффиціенту. Слѣдовательно

искомая длина $x = 4000 : 78 = 5128$ метровъ.

Примѣръ 3. Какой толщины должны быть 4 круглые стержня гидравлическаго пресса, который долженъ производить давленіе 200000 килограммовъ.

Для 4-хъ кратной прочности введемъ въ вычисленіе давленіе = 800000 кило и коеффиціентъ крѣпости для желѣза примемъ 4000 кило, то 4 стержня вмѣстѣ должны имѣть сѣченіе $800000.4000 = 200$ □ сантиметра, а каждый изъ нихъ 50 □ сантим. или приблизительно $d = 8{,}0$ сантим. толщины. Если бы была принята шестикратная надежность, то сѣченіе каждаго стержня было бы въ $1^1/_2$ раза больше, слѣдов. 75,0 □ сантиметра.

Столь же просто дѣлается опредѣленіе размѣровъ сѣченія, если тѣло сопротивляется сжатію; тогда вмѣсто коеффиціента крѣпости K для растяженія нужно взять изъ таблицы коеффиціентъ K_1 для сжатія и ввести его въ вычисленіе, при чемъ предполагается, что размѣры сѣченія можно считать большими сравнительно съ длиною тѣла. Если же напротивъ длина значительно превышаетъ размѣры сѣченія, такъ что тѣло имѣетъ видъ длиннаго и тонкаго стержня или тонкой стойки, то уже нельзя употреблять для вычисленій эти простыя формулы, При такихъ обстоятельствахъ сторжень сгибается перпендикулярно къ его длинѣ и наступаютъ совершенно иныя условія сопротивленія, чѣмъ условія простой крѣпости сжатія. Тогда говорятъ, что стержень сопротивляется отламыванію и его крѣпость вычисляется по особымъ формуламъ, которыя даны далѣе.

Примѣръ 4. Съ какой прочностію сопротивляется нижній рядъ кирпичей вѣсу ненагруженной стѣны, имѣющей высоту 30 метр., если 1 куб. метръ стѣны вѣситъ 1800 килогр. и крѣпость сжатія кирпича на квадр. сантим. есть 200 килогр., а слѣдовательно на квадр. метр. оно = 2000000 килогр.?

Вѣсъ стѣны, считая на квадр. метръ площади основанія, есть $S_1 = 30 \times 1800 = 54000$ кило.

Сопротивленіе сжатію на квадр. метръ равно $K_1 = 2000000$ кило, слѣдов. прочность

$$\sigma = \frac{K_1}{S_1} = \frac{2000000}{54000} = 37.$$

Примѣръ 5. Каково поперечное сѣченіе мостоваго гранатнаго быка въ 20 м. вышины, который кромѣ собственнаго вѣса долженъ еще вынести давленіе въ 100 тоннъ (по 1000 кило) и который состоитъ изъ 4-хъ одинаково длинныхъ призматическихъ кусковъ, если 1 к. м. гранита вѣситъ 2,4 тонны, а допускаемое напряженіе при сжатіи (при 30-кратной крочности) равно 270 кило на квадр. сантиметръ или 270 тоннамъ на квадр. метръ?

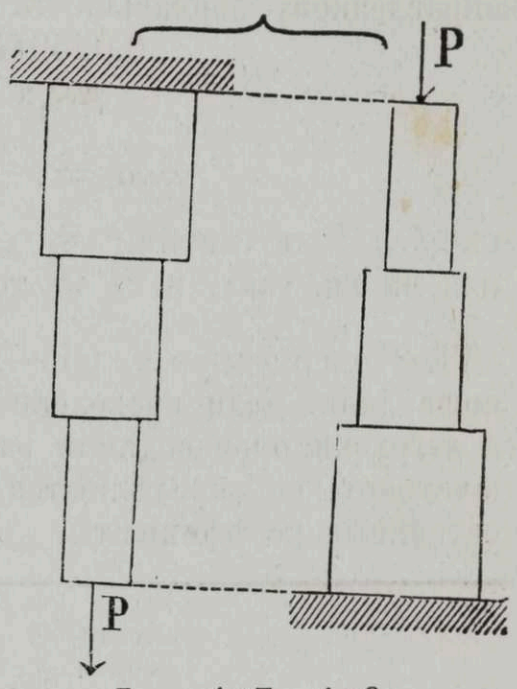
Выбравъ □ м. за единицу площади, а тонну за единицу силѣ, имѣемъ $P = 100$, $S = 270$, $\gamma = 2{,}4$, $l = 5$, отсюда по формулѣ (12) отдѣльныя поперечныя сѣченія суть:

$$F_1 = \frac{P}{s}\left(\frac{s}{s-\gamma l}\right) = 0{,}3876 \text{ □ м},$$

$$F_2 = \frac{P}{s}\left(\frac{s}{s-\gamma l}\right)^2 = 0{,}4056 \text{ □ м.},$$

$$F_3 = \frac{P}{s}\left(\frac{s}{s-\gamma l}\right)^3 = 0{,}4244 \text{ □ м.},$$

$$F_4 = \frac{P}{s}\left(\frac{s}{s-\gamma l}\right)^4 = 0{,}4441 \text{ □ м.},$$



Фиг. 167—168.

Вѣсъ быка въ такомъ случаѣ есть $G = 19{,}9404$ тоннъ.

Если бы мы желали при тѣхъ же условіяхъ построить быкъ равнаго сопротивленія, то по формулѣ (9) мы бы имѣли, для $x = 30$ м. и $F_0 = \frac{P}{s} = 0{,}3703$ □ м, у подошвы наибольшую площадь поперечнаго сѣченія $F = 0{,}4421$ □ м.

Въ такомъ случаѣ изъ формулы $P + G = s \,.\, F$ имѣемъ вѣсъ быка $G = 19{,}367$ тоннъ, который меньше предыдущаго вѣса на 0,5734 тоннъ или 573,4 килогр.

III. Нагрузка свай. По Ронделе деревянныя сваи, забитыя въ грунтъ достаточно сильно, отвсюду окруженныя землею и связанныя ростверкомъ, могутъ быть нагружаемы 30 до 35 килограм. на 1 квадр. сантиметръ.

Примѣръ. Каменный мостовой устой имѣетъ 8 м. ширины; 2,6 м. толщины и 7 м. высоты. Онь долженъ стоять на ростверкѣ, положенномъ на сваяхъ въ 25 сантим. діаметромъ. Сколько нужно вбить свай?

Объемъ устоя	8×2,6×=145,6 куб. метр.
Удѣльный вѣсъ каменной массы примемъ . .	=2,6
Слѣдов. вѣсъ 1 кубическаго метра	2,6×1000=2600 килограм.
Вѣсъ всего устоя	145,6×2600=378560 „
Поперечное сѣченіе сваи.	=490 □ сантиметр.
Грузъ на одну сваю	30×490=14700 килограм.
Искомое число свай.	378560 : 14700=25 „

IV. Нагрузка стѣнъ. Крѣпость стѣнъ изъ тесаныхъ камней или изъ кирпича слѣдуетъ принимать самое большее $^1/_{10}$, стѣнъ изъ бута самое большее $^1/_{20}$ той крѣпости, которая соотвѣтствуетъ камнямъ стѣны.

Примѣръ Какой высоты можетъ достигнуть стѣна изъ кирпича, если она должна раздавиться отъ собственнаго вѣса. Стѣна достаточно толста, такъ что она не изгибается, но разрушается вслѣдствіе раздробленія ея нижнихъ слоевъ.

Крѣпость кирпича на 1 □ сантиметръ примемъ.	50 килогр.
И удѣльный вѣсъ матеріала.	1,5 „
Слѣд. вѣсъ призм. столба въ 1 □ сантиметръ поперечн. сѣчен. и въ 1 метръ высотою 0,01 × 10 × 1,5 = ...	0,15 „

Высота стѣны, при которой нижніе слои раздавятся $50 : 0{,}15 = 333$ метра. Слѣд. поэтому правилу кирпичная стѣна можетъ быть только 33,3 метра высотою, даже въ томъ случаѣ, если она не должна поддерживать никакой иной грузъ, кромѣ ея собственнаго вѣса.

V. Діаметръ d валика длиною l, который подвергается давленію G, направленному нормально къ его оси, по Винклеру

$$d = \frac{0{,}0256\,G^2}{l^2 S_1{}^3}, \text{ для чугуна или желѣза}$$

$$d = \frac{0{,}014625\,G^2}{l^2 S_1{}^3} \text{ для стали}$$

гдѣ d и l въ сантим.; S_1 допускаемое сопротивленіе раздробленію въ кило на кв. сант. и G въ тоннахъ.

VI. Сопротивленіе проволокъ разрыву. Опыты Кармарша дали: Если проволоки разной толщины нагружать до разрыва, то нагрузки, производящія разрывъ, относятся не просто какъ квадраты діаметровъ, но опредѣляются по формулѣ $P = \alpha d + \beta d^2$ гдѣ α и β постоянные коеффиціенты.

	Неотожженая.		Отожженая.			Неотожженая.		Отожженая.	
	α	β	α	β		α	β	α	β
Стальн. провол. . .	21	50	3	45	Мѣдная	7,5	27,5	0	18,5
Лучшая желѣзная. .	12,5	50	3	26	Платиновая	9,5	17,5	7,5	14,5
Обыкн. желѣзная . .	18	36	5	22,5	Цинковая	1,75	10	—	—
Латунная провол. .	8	43	5,5	22,5	Свинцовая.	0	1,75	—	=

76. Упругость и крѣпость скалыванія или срѣзыванія. Тѣло сопротивляется скалыванію или срѣзыванію въ какомъ нибудъ своемъ поперечномъ сѣченіи, если равнодѣйствующая всѣхъ внѣшнихъ силъ дѣйствуетъ въ самой плоскости этого поперечнаго сѣченія и приложена къ его центру тяжести. Въ строительной практикѣ разсматриваютъ исключительно случай срѣзыванія только тогда, когда двѣ силы дѣйствуютъ на поперечное сѣченіе параллельно его плоскости и въ противоположныя стороны и когда онѣ (силы) расположены очень близко одна отъ другой по обѣимъ сторонамъ плоскости поперечнаго сѣченія. Эти силы стремятся раздѣлить или разрѣзать брусъ по этому поперечному сѣченію. Сопротивленіе срѣзыванію — какъ и сопротивленіе разрыву — пропорціонально величинѣ площади разрѣза.

Поэтому, если P есть срѣзывающая сила, F площадь поперечнаго сѣченія и K_2 коеффиціентъ крѣпости срѣзыванія на единицу площади, то очевидно

$$P = F \cdot K_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Это уравненіе примѣнимо для всѣхъ случаевъ, гдѣ разрѣзъ происходитъ по плоскости дѣйствія, слѣдовательно, для обрѣзыванія, обдалбливанія и пробиванія матеріала, каковыя работы производятся соотвѣтствующими машинами. Но чтобы не произошло срѣзываніе, напр. шиповъ, заклепокъ, болтовъ и т. п. деталей, сопротивляющихся срѣзыванію, выбираютъ за допускаемое напряженіе S, для металловъ

5-ую, для дерева 10-ю, для камня 20-ую часть коеффиціента K_2. Уравненіе $P = F.S$ . . . . (14) примѣнимо для тѣхъ случаевъ, гдѣ не должно происходить срѣзываніе.

Для металловъ коеффиціентъ срѣзыванія K_2 составляетъ $\frac{3}{5}$ до $\frac{4}{5}$ отъ коеффиціента разрыва K. Для дерева крѣпость срѣзыванія различна по различнымъ направленіямъ, по причинѣ волокнистаго строенія дерева; она напр. очень мала по направленію волоконъ, а по радіальному направленію годовыхъ колецъ она сравнительно велика.

Модуль упругости G при скалываніи составляетъ около $\frac{2}{3}$ модуля упругости при растяженіи.

Примѣръ. Полосу A шириною 10 сант. и толщиною 1,6 ст. нужно укрѣпить помощію двухъ заклепокъ къ поясу B. Какой толщины нужно взять заклепки, если сопротивленіе ихъ срѣзыванію равно сопротивленію разрыва полосы A.

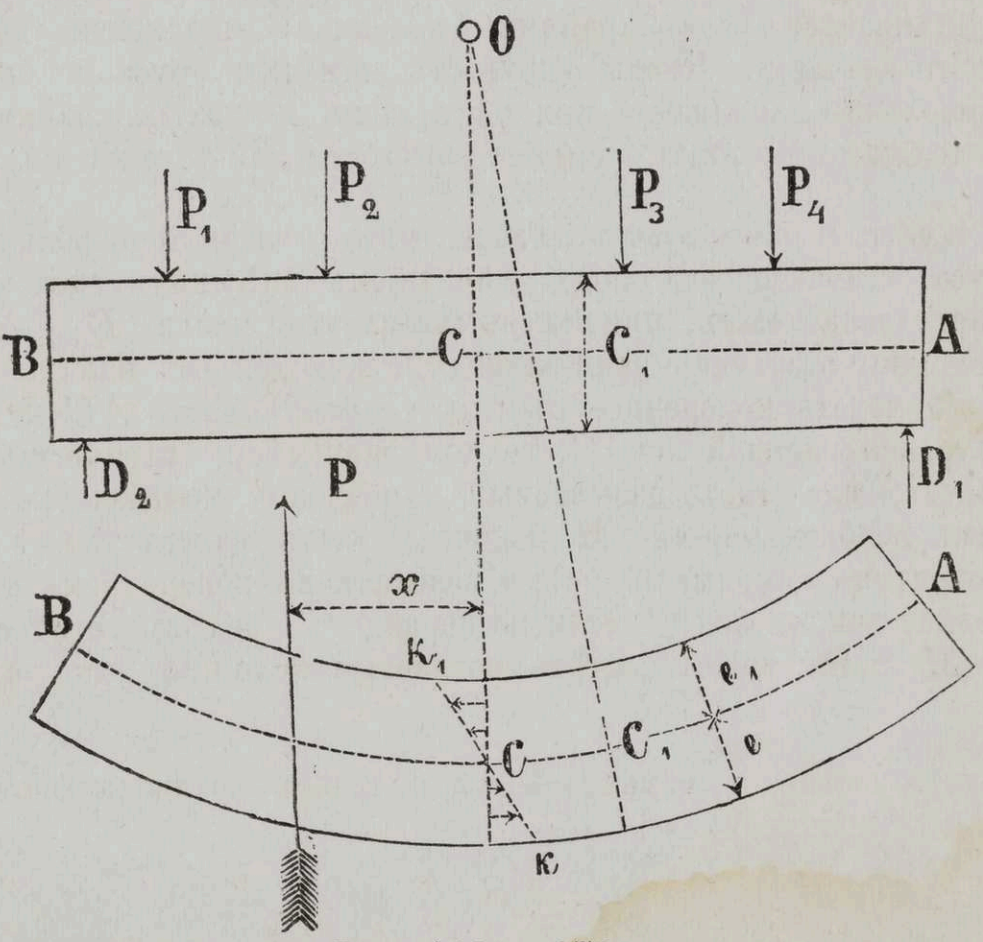
При этомъ предположеніи сѣченіе 2 заклепокъ д. б. равно сѣченію полосы, измѣренному безъ заклепочныхъ дыръ. Мы рѣшаемъ задачу пробою. Пусть.

Діаметръ заклепки . . . . . =25 ст.
Сѣченіе обоихъ заклепокъ . . . . . =0,81 □ ст.

Ширина полосы безъ дыръ . . . . 10—5=5 ст.
Слѣдов. сѣченіе полосы . . . . . 5×1,6=8 □ ст.

Такъ какъ сѣченіе заклепокъ оказывается нѣсколько больше сѣченія полосы (противъ дыръ), то діаметръ заклепокъ былъ принятъ нѣсколько великъ. Онъ долженъ быть 2,3 ст.

77. Упругость и крѣпость сгибанія однородныхъ тѣлъ съ прямолинейной осью (прежде называлась **относительною крѣпостью**).



Фиг. 169 и 170.

Брусъ AB (фиг. 169) тогда сопротивляется изгибу, когда внѣшнія силы дѣйствуютъ перпендикулярно къ оси AB и всѣ лежатъ въ одной

плоскости, проходящей черезъ AB,— такъ называемой плоскости силъ. Къ внѣшнимъ силамъ принадлежатъ также сопротивленія опоръ, на которыхъ лежитъ брусъ, такъ называемыя опорныя давленія D_1, D_2. Отъ дѣйствія этихъ силъ брусъ, который мы себѣ представляемъ состоящимъ изъ ряда крѣпко связанныхъ между собой волоконъ, лежащихъ параллельно къ оси бруса, сгибается. Поперечныя сѣченія C, C_1, первоначально параллельныя одно къ другому, уже не будутъ болѣе параллельны, а сдѣлаются приблизительно перпендикулярными къ изогнутымъ продольнымъ волокнамъ, если сгибаніе происходитъ до достиженія предѣла упругости, и пересѣкутся по прямой O.

Изъ того обстоятельства, что оба поперечныя сѣченія C, C_1 при существующемъ сгибѣ, сходятся, непосредственно слѣдуетъ, что волокна, находящіяся между этими поперечными сѣченіями въ различныхъ слояхъ, имѣютъ различную длину. Волокна, лежащія на нижней выпуклой сторонѣ (фиг. 170), удлиняются, слѣдов., растягиваются, тѣ же, которыя лежатъ на верхней вогнутой сторонѣ, укорачиваются, т. е. сжимаются. Поэтому при переходѣ отъ удлиненныхъ волоконъ къ укороченнымъ — мы встрѣтимся съ такимъ слоемъ, волокна котораго ни растянуты, ни укорочены; они, слѣдов., сохраняютъ свою начальную длину, не смотря на изгибъ; этотъ слой волоконъ называютъ поэтому нейтральнымъ слоемъ; линію сѣченія этого слоя съ поперечной плоскостью называютъ нейтральной осью; и наконецъ, линію сѣченія нейтральнаго слоя съ плоскостью силъ называется упругою линіей. Начиная отъ нейтральнаго слоя, напряженіе волоконъ постепенно (пропорціонально разстояніямъ) увеличивается и въ крайнихъ волокнахъ напряженіе достигаетъ наибольшаго значенія. Чтобы упругость согнутаго бруса не была нарушена, наибольшія напряженія при растяженіи и сжатіи крайнихъ волоконъ, не должны достигать предѣла упругости для растяженія и сжатія.

Сгибающій моментъ. Разсмотримъ теперь произвольную часть AC бруса, сгибающагося подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ, пусть P равнодѣйствующая силъ, приложенныхъ къ этой части ($D_1, -P_1, -P_2$) и x ея плечо или разстояніе этой равнодѣйствующей, отъ найтральной оси, проходящей черезъ поперечное сѣченіе C; чтобъ часть AC не повернулась около нейтральной оси C, то для равновѣсія статическій моментъ Px силы P, или такъ называемый сгибающій моментъ, который мы обозначимъ вообще черезъ M, долженъ быть равенъ суммѣ статическихъ моментовъ напряженій всѣхъ волоконъ въ поперечномъ сѣченіи C относительно той же оси C, если не перейдетъ предѣлъ упругости тѣла. Моментъ $M = Px$ можетъ имѣть различныя величины для различныхъ сѣченій.

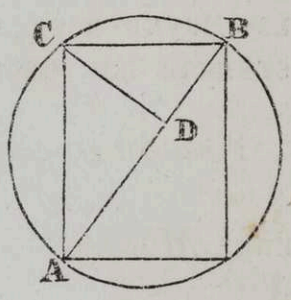
Изъ этого сравненія моментовъ мы получаемъ важныя формулы для строительной практики:

$$\left.\begin{aligned} M &= \frac{S}{e} J \\ \text{или } M &= \frac{S_1}{e_1} J \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Произведеніе $\frac{S}{e} J$ или $\frac{S_1}{e_1} J$ называется моментомъ напряженія разсматриваемаго сѣченія или также его сгибающимъ моментомъ для напряженія S или S_1. Здѣсь S и S_1 допускаемыя напряженія матеріала (на единицу площади) при растяженіи и сжатіи, e и e_1 разстоянія крайнихъ наиболѣе напряженныхъ (вытягиваемыхъ или сжимаемыхъ) волоконъ отъ нейтральной оси и J есть, такъ назыв. моментъ инерціи поперечнаго сѣченія относительно нейтральной оси, проходящей въ данномъ случаѣ черезъ центръ тяжести сѣченія. Моментъ инерціи представляетъ собой сумму произведеній изъ отдѣльныхъ элементовъ площади сѣченія на квадраты ихъ разстояній отъ нейтральной оси. Частное $J : e$ есть величина, зависящая только отъ размѣровъ поперечнаго сѣченія; и называется модулемъ сѣченія, а также моментомъ сопротивленія и обозначается буквою W, такъ что $M = WS$ и $M = WS_1$. То сѣченіе призматическаго тѣла, для котораго $M = Px$ получаетъ наибольшую величину, называется опаснымъ сѣченіемъ и сила P, вызывающая въ этомъ сѣченіи напряженіе S и преставляющая слѣдов. сопротивленіе бруса для напряженія S опредѣляется изъ уравненія $P = \frac{SJ}{x_{max} e}$, гдѣ x_m представляетъ значеніе x, соотвѣтствующее наибольшему Px.

Наилучшее распредѣленіе матеріала въ нагруженныхъ балкахъ.

1) Если изъ круглаго бревна (фиг. 171) нужно приготовить балку, которая имѣла бы возможно большую крѣпость сгибанія, нужно чтобы ширина BC балки относилась къ ея высотѣ AC какъ 5:7 или какъ $1 : \sqrt{2}$. Для этого дѣлаютъ $BD = 1/3$ діаметра AB, проводятъ перпендикуляръ CD и стороны CA и CB, которыя и даютъ высоту и ширину балки.



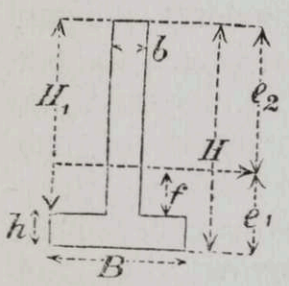
Фиг. 171.

2) Балки чугунныя. Годгкинсонъ рекомендуетъ какъ самую лучшую форму сѣченія для чугунныхъ балокъ двутавровую, при которой нижній растягиваемый поясъ получаетъ въ 6 разъ большее поперечное сѣченіе, чѣмъ поясъ верхній сжимаемый. Тогда при изломѣ одновременно верхнія волокна раздробляются, а нижнія разрываются.

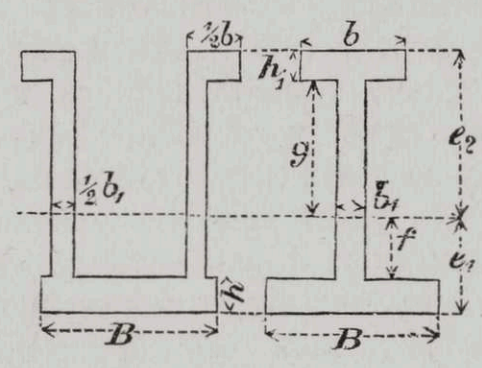
Изъ сравненія обѣихъ значеній для M (15) получаемъ $\frac{S}{e} = \frac{S_1}{e_1}$ или $S : S_1 = e : e_1$, т. е. всякой раціонально конструированной балкѣ нужно придавать такую форму поперечнаго сѣченія, чтобы наибольшее допускаемое напряженіе при растяженіи и сжатіи въ крайнихъ волокнахъ съ обѣихъ сторонъ нейтральной оси достигалось одновременно. Сѣченія, въ коихъ существуетъ такое отношеніе, наз. сѣченіями равной крѣпости. Такъ какъ для стали, желѣза и дерева, до предѣла упругости, $S = S_1$ приблизительно, то балка изъ такого матеріала должна быть конструирована такъ, чтобы площадь сѣченія дѣлилась пополамъ нейтральной осью ($e = e_1$). Для чугуна же крѣпость сжатія по крайней мѣрѣ въ два раза больше чѣмъ крѣпость растяженія, слѣдовательно поперечное сѣченіе чугунныхъ

балокъ должно должно имѣть такую форму, чтобы крайнія сжатыя волокна отстояли отъ нейтральной оси по крайней мѣрѣ вдвое далѣе, чѣмъ крайнія растянутыя ($e_1 = 2e$). Клозе составилъ съ соблюденіемъ этого отношенія слѣдующія формы сѣченій.

Въ фиг. 172: $B = 8b; h = b; e_1 = 4b; e_2 = 8b$. Модуль поперечнаго сѣченія $W = \frac{J}{e_2}$; $J = 278b^4$; площадь $F = 19b^2$. Для той же фигуры $B = 5{,}8b$; $h = 1{,}5b$; $e_1 = 4b$; $e_2 = 8b$; $J = 269b^4$; $F = 19\ b^2$.



Фиг. 172.



Фиг. 173.

Фиг. 174.

Въ фиг. 173: $B = 6b_1$; $h = \frac{1}{6} b_1$; $h_1 = 0{,}5b_1$; $\frac{1}{2}b = b_1$; $e_1 = 2{,}5b_1$; $e_2 = 5b_1$; $J = 80b_1^4$; $F = 13{,}32b_1^2$.

Въ фиг. 174: $B = 12b_1$; $b = 5b_1$; $h_1 = 1{,}33b_1$; $e = 4{,}5b_1$; $e_2 = 9b_1$; $J = 922b_1^4$; $F = 40{,}8b_1^2$.

Сторона растяженія ближайшая къ нейтральной оси.

Такъ какъ, далѣе, напряженіе матеріала вблизи нейтралънаго слоя наименьшее, а въ наибольшемъ отъ нея (оси) разстояніи — наибольшее, то для правильнаго пользованія матеріаломъ, нужно его (матеріалъ) располагать возможно дальше отъ нейтральнаго слоя, какъ это дѣлается въ листовыхъ и рѣшетчатыхъ балкахъ, поперечное сѣченіе которыхъ состоитъ изъ двухъ параллельныхъ поясовъ, цѣлесообразно связанныхъ между собой стѣнкой или распорками.

Разсчетъ поперечнаго сѣченія. Въ уравненіи $M = \frac{S}{e} J$ или $M = \frac{S_1}{e_1} J$ имѣются 4 величины; для опредѣленія одной изъ нихъ должны быть даны остальныя три. Обыкновенно даются: длина l бруса, допускаемое напряженіе матеріала S на единицу площади и нагрузка бруса.

По длинѣ l и по нагрузкѣ легко опредѣлить сгибающій моментъ M въ каждомъ поперечномъ сѣченіи, а такъ какъ высоту h поперечнаго сѣченія, а слѣдовательно и e ставятъ въ зависимость отъ длины бруса, то опредѣлить обыкновенно приходится только моментъ инерціи J поперечнаго сѣченія, при чемъ обыкновенно задается форма поперечнаго сѣченія и также всѣ размѣры кромѣ одного, который и опредѣляется по формулѣ $M = \frac{S}{e} J = WS$.

Короткіе брусья дѣлаютъ обыкновенно — съ цѣлью болѣе легкаго изготовленія — съ постояннымъ поперечнымъ сѣченіемъ, размѣры котораго вычисляются для того мѣста бруса, гдѣ сгибающій моментъ M достигаетъ наибольшаго своего значенія. Поперечное сѣченіе въ этомъ мѣстѣ называется поэтому опаснымъ сѣченіемъ.

Высота h сѣченія берется, на основаніи опытовъ, для мостовыхъ балокъ въ $^1/_8$ до $^1/_{12}$ отъ свободной длины l, а для балокъ въ гражданскихъ постройкахъ въ $^1/_{16}$ до $^1/_{32}$ отъ l.

Тѣла равнаго сопротивленія сгибанію. Вслѣдствіе выбора постояннаго поперечнаго сѣченія для длинныхъ брусьевъ не только тратится лишній матеріалъ, но и уменьшается способность бруса сопротивляться дѣйствующимъ силамъ, поэтому ихъ всего раціональнѣе конструировать, какъ брусья равнаго сопротивленія, поперечныя сѣченія которыхъ пропорціональны сгибающимъ моментамъ дѣйствующихъ на нихъ силъ. Здѣсь нужно замѣтить, что поперечныя сѣченія, для которыхъ $M = 0$, должны быть таковы, чтобы они могли сопротивляться скалывающимъ силамъ, дѣйствующимъ въ этихъ сѣченіяхъ. Но скалывающая сила въ какомъ либо поперечномъ сѣченіи C (фиг. 169) равна равнодѣйствующей всѣхъ внѣшнихъ силъ отъ одного изъ концовъ бруса до этого поперечнаго сѣченія, включая сюда и опорное давленіе.

Распредѣленіе скалывающихъ напряженій. Если бы напряженія эти, вызванныя скалывающей силой V въ поперечномъ сѣченіи C (фиг. 169), были распредѣлены равномѣрно по всей площади сѣченія, то площадь F для сѣченія, гдѣ сгибающій моментъ $M = 0$ опредѣлилась бы изъ уравненія $V = s.F$, гдѣ s есть допускаемое напряженіе скалыванія матеріала на единицу площади.

Но равномѣрнаго распредѣленія скалывающихъ напряженій, вызываемыхъ сгибаніемъ не можетъ быть, потому что волокна, расположенныя параллельно нейтральному слою волоконъ по обѣимъ сторонамъ ея, испытываютъ противоположныя напряженія, увеличивающіяся съ удаленіемъ отъ оси. Вслѣдствіе этихъ противуположныхъ напряженій въ нейтральномъ слоѣ волоконъ является, очевидно, наибольшая скалывающая сила и чтобы обѣ половины бруса, лежащія по обѣимъ сторонамъ нейтральнаго слоя, не сдвинулись одна по другой, брусъ долженъ въ нейтральномъ слоѣ получить нѣкоторую ширину z.

Пусть F_1 и F_2 площади частей поперечнаго сѣченія по обѣимъ сторонамъ нейтральной оси; a_1 и b_2 разстоянія центровъ тяжести этихъ частей F_1 и F_2 отъ нейтральной оси, тогда скалывающее напряженіе s_0 на единицу площади въ нейтральномъ слоѣ волоконъ опредѣлится изъ $s_0 = \frac{V.F_1.a_1}{z_0 J}$ или изъ $s_0 = \frac{V.F_2.a_2}{z_0 J}$ причемъ вообще для металловъ $s_0 = \frac{3}{4}s$, а для дерева $s_0 = \frac{1}{10}s$. Изъ предыдущихъ уравненій имѣемъ $z_0 = \frac{V.F_1.a_1}{s_0 J}$ или $z_0 = \frac{V.F_2.a_2}{s_0 J}$.

Начиная отъ нейтральнаго слоя скалывающее напряженіе уменьшается съ разстояніемъ y отъ нейтральной оси и въ продольномъ направленіи оно имѣетъ такую же величину, какъ и въ поперечномъ. Обозначивъ черезъ z ширину поперечнаго сѣченія на разстояніи y отъ нейтральной оси, мы получаемъ для напряженія s скалыванія на единицу площади, являющаго-

ся въ горизонтальномъ и вертикальномъ напряженіяхъ выраженіе: $s = \frac{V}{z \cdot J} \int_y^e y \cdot z \cdot dy$, гдѣ $\int_y^e y \cdot z \cdot dy$ или $\int_y^e y \cdot dF$ означаетъ сумму всѣхъ элементовъ площади $z \cdot dy$ или dF между предѣлами y и e по отношенію къ нейтральной оси.

Условія для поперечныхъ сѣченій равной статической крѣпости. Такъ какъ изломъ цилиндрической или призматической балки происходитъ въ мѣстѣ укрѣпленія, то въ балкѣ, которая должна имѣть одинаковую крѣпость (противъ сгибанія) во всѣхъ поперечныхъ сѣченіяхъ, эти сѣченія должны уменьшаться съ приближеніемъ къ точкѣ подвѣса груза.

a. Если l длина балки, b ширина, h высота въ мѣстѣ укрѣпленія и y высота, z ширина балки на разстояніи x отъ точки приложенія груза; тогда для дѣйствующаго на концѣ груза и прямоугольнаго сѣченія $\frac{x}{l} = \frac{zy^2}{bh^2}$ и для $z = b$ или при постоянной ширинѣ балки $y_2 = \frac{h^2}{l} x$; слѣдов. балка должна быть очерчена поо быкновенной параболѣ.

b. При постоянной высотѣ или $y = h$ будетъ $z = \frac{b}{l} x$, т. е. если прямоугольное сѣченіе балки имѣетъ по всей ея длинѣ одинаковую высоту, то балка въ горизонтальной проэкціи получаетъ форму треугольника.

c. Если сѣченія балки будутъ подобныя фигуры, т е. отношеніе ширины къ высотѣ во всѣхъ пунктахъ одно и тоже, то горизонтальная и вертикальная проэкціи д. б. кубическія параболы.

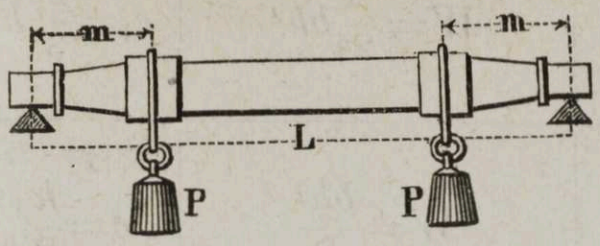
d. Если грузъ распредѣленъ равномѣрно, то для прямоугольнаго поперечнаго сѣченія $\frac{x^2}{l^2} = \frac{zy^2}{bh^2}$ и при постоянной ширинѣ $y = \frac{h}{l} x$, такъ что балка въ вертикальной проэкціи образуетъ треугольникъ. Если напротивъ $y = h$ или высота постоянна, то $z = \frac{b}{l^2} x^2$ и горизонтальная проэкція получаетъ форму обыкновенной параболы.

e. Балка, нагруженная въ срединѣ, а на концахъ подпертая, получаетъ двойную форму случай a, если ширина $z = b$ постоянна и двойную форму случай b, если высота $y = h$ остается постоянною.

f. При равномѣрно распредѣленномъ грузѣ и постоянной ширинѣ балка получаетъ форму эллипса; нацротивъ, при постоянной высотѣ горизонтальная проэкція получаетъ форму обыкновенной параболы и $z = 6 \left(1 - \frac{4x_2}{l}\right)$.

g. Если валъ подпертъ на концахъ и въ равномъ разстояніи отъ точекъ опоры нагруженъ равными вѣсами, то средняя часть между ними получитъ всюду одинаковое поперечнос сѣченіе; напротивъ части крайнія отъ грузовъ къ точкамъ опоры могутъ быть утоняемы по предъидущему способу, т. е. по кубической параболѣ (фиг. 175).

h. Эти формы суть чисто математическія; въ практикѣ ихъ замѣняютъ приблизительными формами. Для балки, укрѣпленной однимъ концомъ и нагруженной на другомъ, съ прямоугольнымъ сѣченіемъ $= bh$, при постоянной b беруть для h въ точкѣ приложенія груза $h_1 = {}^1/_2 h$. Если уменьшить ширину до ${}^2/_3 b$, то будетъ $h_1 = {}^2/_3 h$ и для балки съ круглымъ сѣченіемъ діаметръ на концѣ $=$ ${}^2/_3$ діаметра въ мѣстѣ укрѣпленія. При равномѣрно распредѣленной нагрузкѣ $h_1 = {}^2/_3 h$ и $b_1 = {}^1/_3 b$.



фиг. 175.

Моменты инерціи. Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены **моменты инерціи и сопротивленія употребительныхъ формъ поперечныхъ сѣченій** относительно **оси, проходящей черезъ центръ тяжести,** а также помѣщены разстоянія e (и e_1) самыхъ удаленныхъ волоконъ.

Коэффиціенты прочнаго сопротивленія матеріаловъ и мѣры, вводимыя въ формулы при исчисленіяхъ. Прочное сопротивленіе въ килограм. на кв. сантиметръ, при повѣркѣ прочности или исчисленіи поперечныхъ измѣреній прямыхъ брусьевъ по приведеннымъ формуламъ, можно принимать:

a) При обыкновенномъ качествѣ матеріала и обыкн. сотрясеніяхъ частей,

Чугунъ	Части обыкновенныхъ машинъ . . .	300	до	450	кил.
	Мосты проѣзжихъ дорогъ и валы водяныхъ и маховыхъ колесъ	250	„	300	„
Желѣзо прокатное мягкое		600	„	700	„
„ листовое.		600	„	—	„
Сталь литая и бессемеровская		900	„	1000	„
Дерево, вообще		60	„	80	„

b) При отсутствіи сотрясеній, точномъ и невыгоднѣйшемъ опредѣленіи временной (случайной) нагрузки, отличномъ качествѣ матеріала и необходимости уменьшить размѣры бруса, для уменьшенія его вѣса, можно принимать для:

Желѣза прокатнаго	800	до	1000	кил.
„ листоваго.	700	„	800	„
Стали литой и бессемеровской	1200	„	1500	„
Чугунъ въ обыкнов. балкахъ.	300	„	400	„
Дерева	80	„	90	„

При примѣненіи формулъ для изгиба, должно имѣть въ виду, что выражая напряженія въ килограммахъ на квадр. сантиметръ, должно вмѣстѣ съ тѣмъ обозначать:

Поперечныя и линейныя измѣренія балки въ сантиметрахъ.
Сосредоточенныя силы P и т. п., въ килограммахъ.
Сплошныя нагрузки на погонную единицу пролета балки, въ килограммахъ на погон. сантиметръ.

Сгибающій моментъ внѣшнихъ силъ M въ килограммо-сантиметрахъ.

Таблица нѣкоторыхъ величинъ J и $W=\frac{J}{e}$.

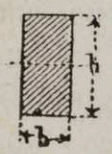
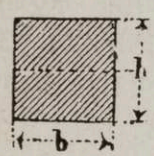
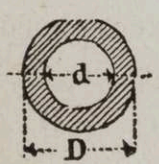
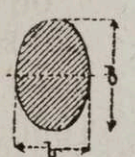
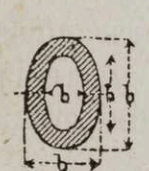
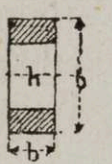
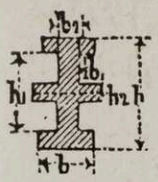
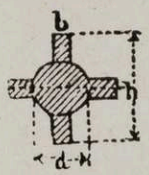
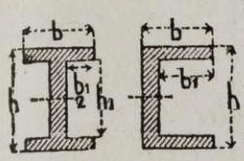
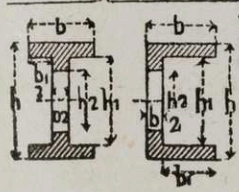
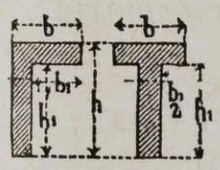
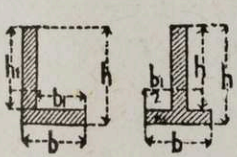
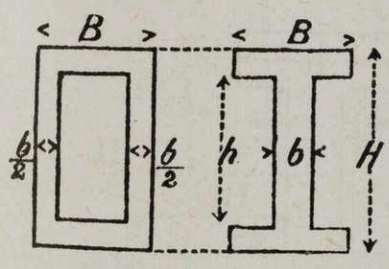
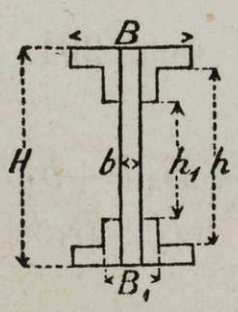
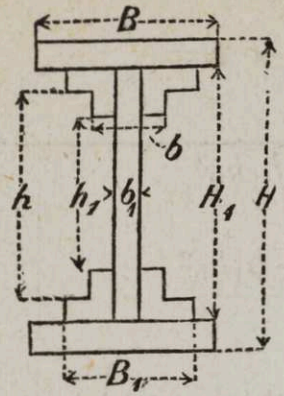
 фиг. 176.	$J=\frac{bh^3}{36}$	$W=\frac{1}{24}bh^2$	$e_1=\frac{2}{3}h$
 фиг. 177.	$J=\frac{bh^3}{12}$	$W=\frac{bh^2}{6}$	$e=\frac{h}{2}$
 фиг. 178.	$J=\frac{b^4}{12}$	$W=\frac{b^3}{6}$	$e=\frac{b}{2}$
 фиг. 179.	$J=\frac{\pi}{64}d^4$ $=0{,}0491\,d^4$	$W=\frac{\pi}{32}d^3$ $=0{,}0982\,d^3$	$e=\frac{d}{2}$
 фиг. 180.	$J=\frac{\pi}{64}(D^4-d^4)$ $=\frac{\pi}{4}(R^4-r^4)$	$W=\frac{\pi}{32}\frac{D^4-d^4}{D}$ $=\frac{\pi}{4}\frac{(R^4-r^4)}{R}$	$e=\frac{D}{2}$
 фиг. 181.	$J=\frac{\pi}{64}bh^3$ $=0{,}0401\,bh^3$	$W=\frac{\pi}{32}bh^2$ $=0{,}0982\,bh^2$	$e=\frac{h}{2}$
 фиг. 182.	$J=\frac{\pi}{64}(bh^3-b_1h_1^3)$	$W=\frac{\pi}{32}\frac{bh^3-b_1h_1^3}{h}$	$e=\frac{h}{2}$
 фиг. 183.	$J=\frac{b}{12}(h^3-h_1^3)$	$W=\frac{b}{6}\frac{h^3-h_1^3}{h}$	$e=\frac{h}{2}$
 фиг. 184.	$J=\frac{bh^3+b_1h_1^3}{12}$	$W=\frac{bh^3+b_1h_1^3}{6h}$	$e=\frac{h}{2}$
 фиг. 185.	$J=\frac{1}{12}\left\{h_1^4+(h^3-h_1^3)h_2+(h-h_1)h_2^3\right\}$	$W=\frac{1}{6h}\left\{h_1^4+(h^3-h_1^3)h_2+(h-h_1)h_2^3\right\}$	$e=\frac{h}{2}$

Таблица нѣкоторыхъ величинъ J и $W=\frac{J}{e}$.

	фиг. 186.	$J=\frac{bh^3-(b-b_2)h_1^3+b_1h_2^3}{12}$ $W=\frac{bh^3-(b-b_2)h_1^3+b_1h_2^3}{6h}$	$e=\frac{h}{2}$
	фиг. 187.	$J=\frac{1}{12}\left\{\frac{3\pi}{16}d^4+b(h^3-d^3)+b^3(h-d)\right\}$ $W=\frac{0{,}5891d^4+(h^3-d^3)b+(h-d)b^3}{6h}$	$e=\frac{h}{2}$
	ф. 188 и 189	$J=\frac{1}{12}(bh^3-b_1h_1^3)$	$W=\frac{1}{6}\frac{(bh^3-b_1h_1^3)}{h}$ $e=\frac{h}{2}$
	ф. 190 и 191	$J=\frac{1}{12}(bh^3-b_1h_1^3-b_2h_2^3)$	$W=\frac{1}{6}\frac{(bh^3-b_1h_1^3-b_2h_2^3)}{h}$ $e=\frac{h}{2}$
	ф. 192 и 193	$W=\frac{1}{6}\left\{bh^2-b_1h_1^2-\frac{4bhb_1h_1(h-h_1)^2}{bh^2-b_1h_1^2}\right\}$	
	ф. 194 и 195	$W=\frac{1}{6}\left\{\frac{(bh^2-b_1h_1^2)^2}{bh^2-2b_1hh_1+b_1h_1^2}-\frac{4bhb_1h_1(h-h_1)^2}{bh^2-2b_1hh_1+b_1h_1^2}\right\}$	$e=\frac{bh^2-b_1h_1^2}{2(bh-b_1h_1)}$
	фиг. 196 и 197.	$^1/_{12}[bh^3+B(H^3-h^3)]$	$\frac{bh^3+B(H^3-h^3)}{6H}$ $e=\frac{H}{2}$
 фиг. 198.		$e_1=e_2=^1/_2H$ $J=^1/_{12}[BH^3-(B-B_1)h^3-(B_1-b)h_1^3]$ $W=\frac{2J}{H}$	

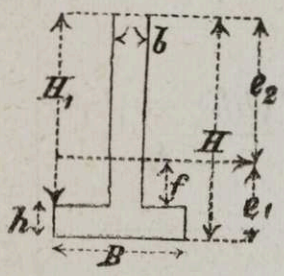


фиг. 199.

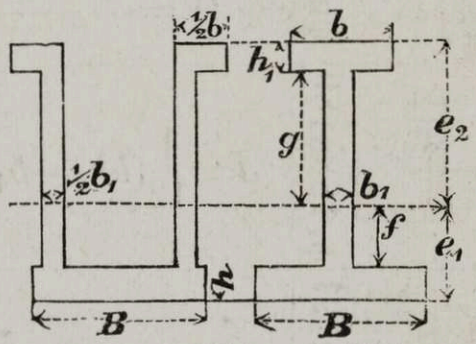
$$e_1 = e_2 = {}^1/_2 H$$

$$J = {}^1/_{12}\,[BH^3 - (B - B_1)H^3_1 - (B_1 - b)h^3 - (b - b_1)h_1{}^3$$

$$W = \frac{2J}{H}$$



фиг. 200.



фиг. 201 и 202.

$$e_1 = {}^1/_2 \frac{[Bh + bH_1(H + h]}{BH - (B - b)H_1}$$

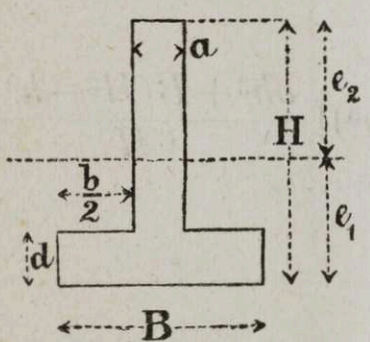
$J = {}^1/_3[B(e_1{}^3 - f^3) + b(f^3 + e_2{}^3)]$

$$SW = \left(\frac{K}{\sigma}\right)\frac{J}{e} \text{ или } \left(\frac{K_1}{\sigma}\right)\frac{J}{e_1}$$

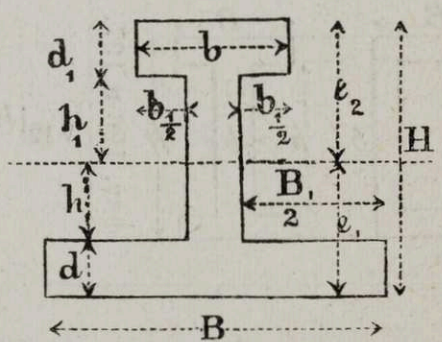
e_1 и e_2 находятся изъ опыта.

${}^1/_3[B(e^1 - f^3) + b_1(f^3 + g^3) + + b(e_2{}^3 - g^3)]$

$$\left(\frac{K}{\sigma}\right)\frac{J}{e} \text{ или } \left(\frac{K_1}{\sigma}\right)\frac{J}{e_1}$$



фиг. 203.



фиг. 204.

$$e_1 = \frac{1}{2}\,\frac{aH^2 + bd^2}{bd + aH}$$

$$J = \frac{1}{3}\left\{ Be^3{}_1 - bh^3 + ae^3{}_2 \right\}$$

$$e_1 = \frac{1}{2}\,\frac{aH^2 + B_1d^2 + b_1d_1(2H - d_1)}{aH + B_1d + b_1d_1}$$

$$J = \frac{1}{3}\left\{ Be^3{}_1 - B_1h^3 + be^3{}_2 - b_1h^3{}_1 \right\}$$

Изъ предыдущихъ формулъ выводятся слѣдующіе результаты:

1. Если призматическій брусъ перевернуть съ широкой грани на узкую, то его крѣпость сгибанія измѣнится въ отношеніи ширины къ высотѣ.

2. Крѣпость полыхъ круглыхъ или эллиптическихъ балокъ, толщина стѣнокъ коихъ незначительна, относится какъ поперечныя сѣченія, умноженныя на высоты сѣченій.

Слѣд. если круглая желѣзная труба при одинаковой толщинѣ стѣнокъ имѣетъ вдвое большій діаметръ, чѣмъ другая, то площадь сѣченія ея вдвое, а крѣпость вчетверо болѣе второй.

3. Сопротивленія балокъ подобныхъ формъ относятся какъ квадраты ихъ линейныхъ размѣровъ, слѣдов. также какъ ихъ площади поперечныхъ сѣченій.

Примѣръ. Модель трубы Конвейскаго моста, испытанная Ферберномъ и Стефенсомъ, имѣла въ поперечномъ сѣченіи 54 кв. д. англ. и выдержала грузъ 89,15 тоннъ, на срединѣ длины, сколько можетъ выдержать настоящій Конвейскій мостъ, если его поперечное сѣченіе=1530″□ англ.?

Искомый грузъ $= 88{,}15 \frac{1530}{54} = 2526$ тоннъ.

4. Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что подобныя и изъ одинаковаго матеріала сдѣланныя машины будутъ тѣмъ крѣпче, чѣмъ онѣ меньше; ибо вѣса частей относятся какъ кубы линейныхъ измѣреній, а сопротивленія къ изгибу какъ ихъ квадраты.

Если машина *A* построена по масштабу въ 2 раза меньшему, чѣмъ машина *B*, то каждая часть *A* будетъ въ 8 разъ легче, но слабѣе только въ 4 раза, такъ какъ укорачиваніе частей увеличиваетъ относительную крѣпость.

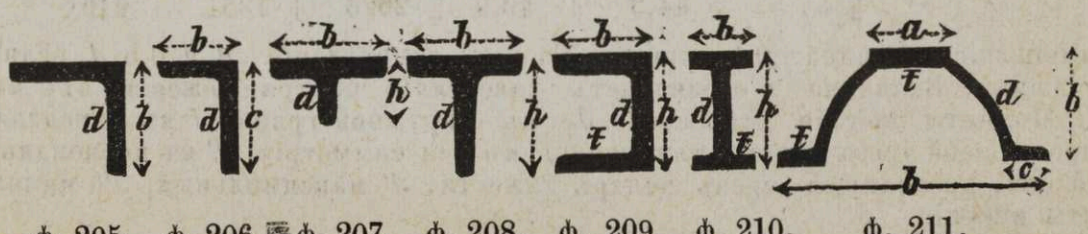
Таблица вѣса, моментовъ инерціи и моментовъ сопротивленія рельсъ.

Подошва 9,15 сант., ширина головки=5,5 сант.

	Высота рельса въ сантим.	Площадь сѣченія въ кв. сант.	Вѣсъ пог. метра въ кил.	Моментъ инерціи относительно.		Моментъ сопротивленія отн. гориз. нейтр. оси.
				горизонт. нейтральной оси.	вертик. нейтральной оси.	
Одиночный рельсъ.	13,08	42,75	32,66	919	149,73	140,4
	11,80	39	29,8	691,59	140,38	117,5
	10,46	34,2	26,1	470,26	121,66	89,8
Два рельса склепанные подошвами.	13,08	85,5	65,31	5521,5	299,47	422,2
	11,80	78	59,6	4083,6	280,75	346,9
	10,46	68,4	52,2	2812,2	243,32	268,46

Таблицы вѣса, моментовъ инерціи и моментовъ сопротивленія нормальныхъ типовъ прокатнаго желѣза германскихъ заводовъ.

Удѣльный вѣсъ желѣза принятъ=7,8. Размѣры въ миллиметрахъ.



ф. 205. ф. 206. ф. 207. ф. 208. ф. 209. ф. 210. ф. 211.

A. Равностороннее угловое желѣзо. Фиг. 205.

№	Ширина b м. м.	Толщина d м. м.	Площадь F кв. сант.	Вѣсъ пог. метра g килогр.	Разстояніе центра тяжести x м. м.	Моменты инерціи въ сантим.			
						J_3	J	J'	J''
		5	4,30	3,35	12,9	15,31	8,15	12,83	3,48
4½	45	7	5,86	4,57	13,6	21,69	10,85	16,77	4,93
		9	7,34	5,73	14,4	28,21	12,99	20,19	5,79
		6	6,91	5,39	17,2	43,55	23,11	37,19	9,03
6	60	8	9,03	7,04	17,9	58,58	29,65	47,03	12,27
		10	11,07	8,63	18,6	73,87	35,57	55,92	15,22
		7	8,70	6,79	18,7	64,58	34,16	54,39	13,93
6½	65	9	10,98	8,56	19,4	83,77	42,44	66,85	18,03
		11	13,18	10,28	20,1	103,32	50,07	77,94	22,20
		7	9,40	7,33	20,1	80,64	42,76	68,75	16,77
7	70	9	11,88	9,27	20,8	104,65	53,26	84,75	21,27
		11	14,28	11,14	21,6	129,04	62,41	102,08	22,14
		8	11,43	8,95	21,5	113,4	60,4	92,3	28,5
7½	75	10	14,11	11,01	22,2	143,0	73,5	114,9	32,1
		12	16,67	13,00	23,0	172,6	84,4	132,3	36,5
		8	12,27	9,57	22,9	137,6	73,3	117,3	29,3
8	80	10	15,11	11,79	23,7	173,6	88,7	141,3	36,1
		12	17,87	13,94	24,5	209,5	102,3	163,1	41,5
		9	15,5	12,1	25,7	220,4	118,0	188,2	37,8
9	90	11	18,7	14,6	26,5	271,0	139,7	223,1	56,3
		13	21,8	17,0	27,4	323,2	159,5	253,8	65,2
		10	19,2	14,9	28,5	336	180	287	73
10	100	12	22,7	17,7	29,4	406	210	334	86
		14	26,2	20,4	30,1	476	239	377	101
		10	21,2	16,5	31,4	447	238	387	89
11	110	12	25,1	19,6	32,1	540	281	452	110
		14	29,0	22,6	32,9	632	318	511	125
		11	25,4	19,8	34,0	638	344	552	136
12	120	13	29,7	23,2	34,7	757	399	636	162
		15	33,9	26,5	35,5	876	449	714	184
		12	30,0	23,4	36,9	885	476	770	182
13	130	14	34,7	27,0	37,6	1037	546	861	231
		16	39,3	30,6	38,4	1188	608	972	244
		13	35,0	27,3	39,8	1198	644	1041	247
14	140	15	40,0	31,2	40,6	1386	727	1174	280
		17	45,0	35,1	41,3	1575	807	1301	313
		14	40,3	31,4	42,6	1588	857	1367	347
15	150	16	45,7	35,7	43,4	1814	953	1534	372
		18	51,0	39,8	44,1	2053	1061	1696	426
		15	46,1	35,9	45,5	2064	1110	1786	434
16	160	17	51,8	40,4	46,3	2344	1234	1976	492
		19	57,5	44,9	49,9	2626	1361	2161	561

Наименьшая толщина=0,1 ширины. Радіусы закругленій=d и 0,5 d, если d средняя толщина. Величина x обозначаетъ разстояніе центра тяжести отъ наружной грани. Моменты инерціи относятся: J_3 къ наружной грани, J къ параллельной ей оси, проходящей чрезъ центръ тяжести, J' къ оси симметріи J'' къ перпендикулярной къ ней оси, проходящей чрезъ центръ тяжести. J' максимальный, J'' минимальный моменты инерціи.

Б. Неравностороннее угловое желѣзо. Фиг. 206.

	№	Размѣры въ м. м.			Площадь F кв. сантиметрахъ.	Вѣсъ пог. метр. g килограм.	Разстояніе центра тяжести.		Моменты инерціи въ сантим.				$tg\varphi$
		b	c	d			x_1 мм.	x_2 мм.	J_1	J_2	J'	J''	
$b:c=2:3$	$5/7^1/_2$	50	75	7	8,33	6,34	12,6	25,1	46,9	16,8	54,0	9,7	0,437
				9	10,51	8,20	13,3	25,8	58,0	20,6	66,5	12,1	0,429
	$6^1/_2/10$	65	100	9	14,2	11,0	16,2	32,5	133,2	48,1	153,6	27,7	0,438
				11	17,1	13,3	17,0	33,2	157,1	56,3	180,7	32,7	0,433
	$8/12$	80	120	10	19,1	14,9	19,7	39,7	278,9	100,6	321,8	57,8	0,440
				12	22,7	17,7	20,5	40,5	325,1	116,2	374,2	67,0	0,436
	$10/15$	100	150	12	28,7	22,4	24,2	49,2	653	238	755	136	0,442
				14	33,2	25,9	24,9	50,0	752	269	865	156	0,440
$b:c=1:2$	$4/8$	40	80	6	6,89	5,27	9,16	29,2	44,5	7,8	47,3	5,0	0,261
				8	9,01	7,03	9,88	29,9	57,3	10,0	60,8	6,5	0,256
	$5/10$	50	100	8	11,5	8,9	11,4	36,4	116,9	20,4	124,1	13,3	0,262
				10	14,1	11,0	12,2	37,2	140,9	24,6	149,3	16,3	0,257
	$6^1/_2/13$	65	130	10	18,6	14,5	14,7	47,2	321,8	56,1	341,6	36,3	0,262
				12	22,1	17,2	15,5	48,0	379,5	65,3	402,1	42,7	0,259
	$8/16$	80	160	12	27,5	21,5	17,9	57,9	725	126	770	81	0,263
				14	31,8	24,8	18,7	58,7	828	142	878	92	0,260
	$10/20$	100	200	14	40,3	31,4	22,2	72,2	1661	288	1762	187	0,264
				16	45,7	35,6	22,8	73,2	1872	320	1982	210	0,262

Если d_m обозначаетъ среднюю толщину между наиб. и наимен., то радіусы закругленій $=d_m$ и $0{,}5d_m$. Величины x_1 и x_2 обозначаютъ разстоянія центра тяжести отъ наружной грани длинной и короткой полокъ. J_1 и J_2 обозначаютъ моменты инерціи относительно осей, проходящихъ чрезъ центръ тяжести, паралл. короткой и длинной полкамъ, J' максимальный, J'' минимальный моменты инерціи, φ уголъ составляемый большою осью эллипса мом. инерціи съ гранью большей полки.

В. Тавровое желѣзо. Фиг. 207 и 208.

	№	Ширина b м. м.	Высота h м. м.	Толщина d м. м.	Площадь F кв. сант.	Вѣсъ пог. метр. g кил.	Разстояніе центра тяж. x м. м.	Моменты инерціи въ сантим.		
								J_3	J	J'
Широкій тавръ. $b:h=2:1$	$^8/_4$	80	40	7,0	7,92	6,18	8,9	14,0	8,0	29,0
	$9/4^1/_2$	90	45	8,0	10,2	7,96	9,9	22,7	13,0	47,2
	$^{10}/_5$	100	50	8,5	12,1	9,44	11,0	33,1	18,7	69,0
	$^{12}/_6$	120	60	10,0	17,0	13,3	13,2	67,4	38,5	140,0
	$^{14}/_7$	140	70	11,5	22,9	17,9	15,3	123,1	70,4	255,6
	$^{16}/_8$	160	80	13,0	29,6	23,1	17,3	207	119,7	431,3
	$^{18}/_9$	180	90	14,5	37,1	28,9	19,3	329	188	684
	$^{20}/_{10}$	200	100	16,0	45,5	35,5	21,4	499	287	1037
		мм.			кв. см.	кггр.	мм.	см.		

В. Тавровое желѣзо. Фиг. 207 и 208.

	№	Ширина. b м. м.	Высота h м. м.	Толщина d м. м.	Площадь F кв. сант.	Вѣсъ пог. метр. g кил.	Разстояніе центра тяж. x м. м.	Моменты инерціи въ сантим. J_3	J	J'
Высокій таваръ, $b:h=1:1$	6/6	60	60	7,0	8,19	6,39	16,9	46,7	23,3	12,5
	7/7	70	70	8,0	10,9	8,50	19,6	84,8	44,7	22,6
	8/8	80	80	9,0	14,0	10,9	22,2	141,9	75,1	38,0
	9/9	90	90	10,0	17,8	13,9	24,9	224,5	119,6	60,1
	10/10	100	100	11,0	21,5	16,8	27,6	337,2	180,5	90,6
	12/12	120	120	13,0	30,5	23,8	32,9	688	369	185
	14/14	140	140	15,0	41,0	32,0	37,9	1259	679	339

Въ этихъ сѣченіяхъ:

$$d=0{,}05\ (b+h)+1 \text{ м. м.}$$

Радіусы закругленій; d, 0,5.d и 0,25.d. Уклонъ внутреннихъ граней подошвы=2 процент., уклонъ граней ребра: широкихъ тавровъ=4 проц., высокихъ тавровъ=2 проц. Величина x обозначаетъ разстояніе центра тяжести отъ подошвы. J_3 моментъ инерціи относительно подошвы. J—относительно нейтр. оси паралл. подошвѣ,—J' относительно оси симметріи.

Г. Желобчатое желѣзо. Фиг. 209.

№	Высота h м. м.	Ширина b м. м.	Толщина подошвы d м. м.	Толщина реберъ t м. м.	Площадь F кв. сант.	Вѣсъ пог. метр. g килогр.	Разстояніе центр. тяж. x м. м.	Моменты инерціи въ сантим. J_3	J	J'	Моменты сопротивленія W' въ сант.
8	80	45	6,0	8,0	11,25	8,8	15,8	43,7	15,6	106,4	26,7
10	100	50	6,0	8,5	13,71	10,7	16,5	62,7	23,4	207	41,4
12	120	55	7,0	9,0	17,30	13,5	17,6	88,4	34,8	368	61,3
14	140	60	7,0	10,0	20,72	16,2	18,0	128,0	60,9	609	87,0
16	160	65	7,5	10,5	24,43	19,1	19,5	170,2	77,4	928	116
18	180	70	8,0	11,0	28,43	22,2	21,0	222,4	97,0	1359	151
20	200	75	8,5	11,5	32,72	25,5	21,8	286,2	130,8	1920	192
22	220	80	9,0	12,5	38,05	29,7	22,4	376,6	185,6	2728	248
26	260	90	10,0	14,0	49,03	38,2	24,3	601	312	4862	374
30	300	100	11,0	16,0	59,63	46,5	26,0	942	539	8025	535

Въ этихъ сѣченіяхъ:

$$b=0{,}25.h+25;\ d=0{,}02.h+4{,}3;\ t=1{,}4d.$$

Размѣры d и t округлены до полумиллиметровъ. Радіусы закругленія t и 0,5.t. Величина x обозначаетъ разстояніе центра тяжести отъ наружной грани вертикальной стѣнки (фиг. 209),J_3 моментъ инерціи относительно этой грани J—относительно параллельной ей нейтр. оси, J'—относительно оси симметріи, W', соотвѣтствующій послѣднему моментъ сопротивленія.

Д. Двутавровое или балочное желѣзо. Фиг. 210.

№	Высота h м. м.	Ширина b м. м.	Толщина ребра d м м.	Толщина полокъ t м. м.	Площадь F кв. сант.	Вѣсъ пог. метр. g килогр.	Моменты инерціи въ сантим. J	Моменты инерціи въ сантим. J'	Моменты сопротивл. W въ сантим.
8	80	42	3,9	5,9	7,94	6,2	78,4	6,4	19,6
9	90	46	4,2	6,3	9,15	7,1	118	8,9	26,2
10	100	50	4,5	6,8	10,53	8,2	172	12,4	34,4
11	110	54	4,8	7,2	12,49	9,7	241	16,6	43,8
12	120	58	5,1	7,7	14,41	11,2	331	21,8	55,2
13	130	62	5,4	8,1	16,35	12,8	440	28,2	67,7
14	140	66	5,7	8,6	18,53	14,5	579	35,9	82,7
15	150	70	6,0	9,0	20,72	16,2	743	44,8	99,0
16	160	74	6,3	9,5	23,15	18,1	944	55,3	118
17	170	78	6,6	9,9	25,6	20,0	1182	68,1	139
18	180	82	6,9	10,4	28,3	22,1	1458	83,0	162
19	190	86	7,2	10,8	31,0	24,2	1777	100	187
20	200	90	7,5	11,3	33,9	24,4	2160	119	216
21	210	94	7,8	11,7	36,9	28,8	2594	140	247
22	220	98	8,1	12,2	40,1	31,3	3091	163	281
23	230	102	8,4	12,6	43,3	33,8	3657	191	318
24	240	106	8,7	13,1	46,8	36,5	4308	224	359
26	260	113	9,4	14,1	54,2	42,2	5798	291	446
28	280	119	10,1	15,2	62,0	48,3	7658	371	547
30	300	125	10,8	16,2	70,0	54,6	9885	462	659
32	320	131	11,5	17,3	78,9	61,5	12624	568	789
34	340	137	12,2	18,3	88,0	68,6	15827	692	931
36	360	143	13,0	19,5	98,4	76,8	19764	834	1098
38	380	149	13,7	20,5	108,6	84,7	24206	987	1274
40	400	155	14,4	21,6	119,5	93,2	29440	1179	1472
42½	425	163	15,3	23,0	134,3	104,7	37273	1446	1754
45	450	170	16,2	24,3	149,1	116,3	46215	1760	2054
47½	475	178	17,1	25,6	165,2	128,9	56383	2121	2374
50	500	185	18,0	27,0	182,0	141,9	68625	2530	2754

для h: < 250: $b = 0{,}4.h + 10$; $d = 0{,}03\ h + 1.5$; для $h > 250$: $b = 0{,}3.h + 35$; $d = 0{,}03.h$; $t = 1{,}5a$

Уклонъ внутреннихъ граней полокъ=14 процент:

J обозначаетъ моментъ инерціи относит. нейтр. оси перпендик. къ вертик. ребру, W—соотвѣтствующій моментъ сопротивленія, J'—моментъ инерціи относит. нейтр. оси параллельной верт. ребру.

E. Желѣзо подкладочное. Фиг. 211.

№	Высота h м.м.	Ширина b м.м.	Ширина a м. м.	Ширина закраинъ c м. м.	Толщина стѣнки d м. м.	Толщина полки и закраинъ t м. м.	Площадь F кв сант.	Вѣсъ пог. метра g килогр.	Моменты инерціи въ сантим. J	Моменты инерціи въ сантим. J'	Моменты сопротивл. W въ сант.
5	50	120	33	21	3	5	6,9	5,3	24	82	9,6
6	60	140	38	24	3,5	6	10,1	7,3	48	155	15,9
7½	75	170	45,5	28,5	4	7	13,9	10,3	106	326	28,3
9	90	200	53	33	4,5	8	18,0	13,8	201	609	45,8
11	110	240	63	39	5	9	22,9	18,6	419	1192	76,2

$b=2h+20$; $a=0{,}5h+8$; $c=0{,}3h+6$; $d=\frac{1}{30}h+1{,}4$; $t=\frac{1}{5}h+1{,}9$.

Величины d и t округлены до полумиллиметровъ.

J обозначаетъ моментъ инерціи относительно нейтр. оси параллельной подошвѣ, W — соотвѣтствующій моментъ сопротивленія, J_1 моментъ инерціи относительно оси симметріи.

Частные случаи сгибанія брусьевъ и балокъ. Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены значенія возможной нагрузки (сопротивленія) P и наибольшаго прогиба балокъ при различныхъ способахъ ихъ укрѣпленія и распредѣленія нагрузки. Здѣсь означаютъ: J моментъ инерціи поперечнаго сѣченія относительно его нейтральной (или проходящей чрезъ центръ тяжести) оси; e разстояніе наиболѣе удаленныхъ отъ нейтральной оси волоконъ и S наибольшее допускаемое напряженіе послѣднихъ на единицу площади.

Сопротивленія балокъ въ этихъ 12 случаяхъ относятся какъ числа:

I. II. IV. V. VI. VII. VIII. IX. X. XI. XII.

$$1 : 2 : 4 : 8 : \frac{l^2}{mn} : \frac{16}{3} : 8 : 8 : 12 : 2\,\frac{l}{m} :$$

Отсюда слѣдуетъ: 1 случай. Если балка, которая однимъ концомъ задѣлана въ стѣну, выдерживаетъ на другомъ концѣ грузъ, равный, положимъ, одному килограмму, то она можетъ выдержать.

2-й случай. Когда грузъ по ней распредѣленъ равномѣрно — два килограмма или вообще вдвое болѣе.

4-й случай. Когда она лежитъ свободно на двухъ подставкахъ, а грузъ привѣшенъ въ серединѣ (или наоборотъ, когда она подперта въ серединѣ, а грузъ привѣшенъ по концамъ) вчетверо болѣе.

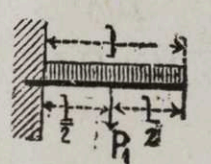
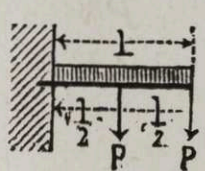
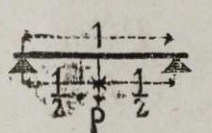
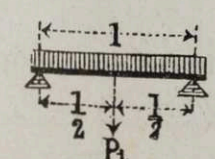
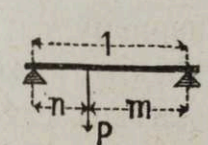
5-й (8-й и 9-й) случай. Когда она лежитъ свободно на двухъ подставкахъ, а грузъ распредѣленъ равномѣрно (или когда одинъ конецъ задѣланъ, другой лежитъ на подставкѣ и грузъ распредѣленъ равномѣрно или грузъ виситъ на серединѣ, но оба конца балки задѣланы въ стѣны) въ 8 разъ болѣе.

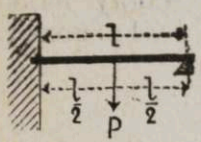
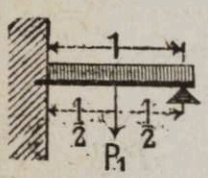
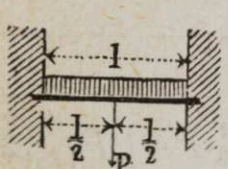
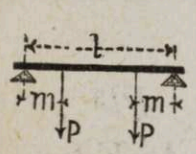
6-й случай. Когда грузъ привѣшенъ не въ серединѣ, но гдѣ нибудь между срединою и концемъ балки, то раздѣли квадратъ длины балки на произведеніе изъ двухъ

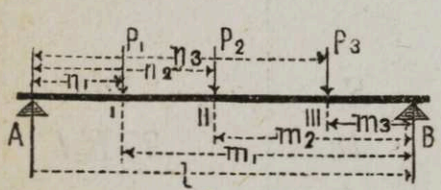
неравныхъ частей ея и частное покажетъ во сколько разъ болѣе можетъ выдержать балка сравнительно съ первымъ случаемъ.

10-й случай. Когда оба конца задѣланы въ стѣны и грузъ распредѣленъ равномѣрно—въ 12 разъ болѣе.

11-й случай. Когда балка лежитъ свободно на подпорахъ и грузъ привѣшенъ въ двухъ точкахъ въ равномъ разстояніи отъ подпорокъ, то раздѣли длину балки на данное разстояніе и удвоенное частное покажетъ во сколько разъ болѣе можетъ вынести балка сравнительно съ первымъ случаемъ.

Способъ укрѣпленія концовъ бруса и распредѣленія нагрузки.		Сгибающій моментъ.	Сопротивленіе P.	Прогибъ f.	Опасное сѣченіе.
 фиг. 212.	Брусъ задѣланъ однимъ концомъ. 1. Грузъ сосредоточенъ на свободномъ концѣ.	$M=Pl$	$P=1\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3}{3EJ}$	въ мѣстѣ укрѣпленія.
 фиг. 213.	2. Равномѣрно распредѣленъ по брусу.	$M=\frac{P_1 l}{2}$	$P_1=2\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3}{8EJ}$	въ мѣстѣ укрѣпленія.
 фиг. 214.	3. Кромѣ груза P брусъ поддерживаетъ еще равномѣрный грузъ P_1.	$M=\left(P+\frac{P_1}{2}\right)l$	$P+\frac{P_1}{2}=1\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{\frac{1}{3}P+\frac{1}{8}P_1}{EJ}l^3$	въ мѣстѣ укрѣпленія.
 фиг. 215.	Брусъ лежитъ свободно на двухъ подпорахъ. 4. Грузъ сосредоточенъ на срединѣ.	$M=\frac{Pl}{4}$	$P=4\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3}{48EJ}$	на срединѣ.
 фиг. 216.	5. Равномѣрно распредѣленъ по брусу.	$M=\frac{P_1 l}{8}$	$P_1=8\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3}{77EJ}$	на срединѣ.
 фиг. 217.	6. Грузъ P привѣшенъ не въ срединѣ между опорами.	$M=P\frac{mn}{l}$	$P=\frac{l^2}{mn}\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pm^2n^2}{3EJl}$	въ точкѣ приложенія силы.

Способъ укрѣпленія концовъ бруса и распредѣленія нагрузки.	Сгибающій моментъ.	Сопротивленіе P.	Прогибъ f.	Опасное сѣченіе
 фиг. 218. Брусъ закрѣпленъ однимъ концомъ, подпертъ на другомъ. 7. Грузъ сосредоточенъ на срединѣ.	$M=\frac{3Pl}{16}$	$P=\frac{16}{3}\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3}{107EJ}$	въ мѣстѣ укрѣпленія.
 фиг. 219. 8. Равномѣрно распредѣленъ по брусу.	$M=\frac{P_1 l}{8}$	$P_1=8\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3}{192EJ}$	въ мѣстѣ укрѣпленія.
 фиг. 220. Брусъ закрѣпленъ обоими концами 9. Грузъ сосредоточенъ на срединѣ бруса.	$M=\frac{Pl}{8}$	$P=8\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3}{192EJ}$	въ мѣстахъ укрѣпленія.
 фиг. 221. 10. Равномѣрно распредѣленъ по брусу.	$M=\frac{P_1 l}{12}$	$P=12\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3}{384EJ}$	въ мѣстахъ укрѣпленія.
 фиг. 222. 11. Балка лежитъ свободно на опорахъ и къ ней привѣшены грузы въ двухъ точкахъ.	$M=\frac{Pm}{2}$	$P=2\frac{l}{m}\frac{SJ}{le}$	$f=\frac{Pl^3m}{16EJl}$	между точками приложенія силы.



фиг. 223.

Сгибающіе моменты въ точкахъ I, II, III.

$M_1=An_1$

$M_2=An_2-P_1(n_2-n_1)$

$M_3=An_3-P_1(n_3-n_1)-P_2(n_3-n_2)$

Давленіе на опоры.

$A=\frac{P_1m_1+P_2m_2+P_3m_3}{l}$

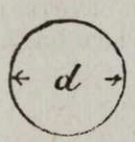
$B=\frac{P_1n_1+P_2n_2+P_3n_3}{l}$

Очевидно, что сопротивленіе всегда можно привести къ первому случаю. Поэтому на практикѣ для удобопонятности при опредѣленіи груза, какой можетъ выдержать данная балка, должно руководствоваться слѣдующими таблицею и правилами. Таблица на стр. 229 относится къ 1 случаю. Въ таблицѣ l обозначаетъ длину балки въ метр., прочіе размѣры слѣдуетъ выражать въ сантиметрахъ.

Таблица для брусьевъ, укрѣпленныхъ однимъ концомъ.

Форма поперечнаго сѣченія.	Желѣзо $S=700$ килогр. на кв. сант.	Чугунъ $S=250$ килогр. на кв. сант.	Дерево $S=70$ килогр. на кв. сант.
Кругъ діаметромъ d	$P=0{,}7\frac{d^3}{l}$ килогр. $d=1{,}13\sqrt[3]{Pl}$ сант.	$P=0{,}25\frac{d^3}{l}$ килогр. $d=1{,}6\sqrt[3]{Pl}$ сант.	$P=0{,}07\frac{d^3}{l}$ килогр. $d=2{,}42\sqrt[3]{Pl}$ сант.
Квадратъ, сторона h	$P=1{,}14\frac{h^3}{l}$ килогр. $h=0{,}95\sqrt[3]{Pl}$ сант.	$P=0{,}42\frac{h^3}{l}$ килогр. $h=1{,}34\sqrt[3]{Pl}$ сант.	$P=0{,}12\frac{h^3}{l}$ килогр. $h=2{,}05\sqrt[3]{Pl}$ сант.
Прямоугольникъ, высота h ширина b	$P=1{,}14\frac{bh^2}{l}$ килогр. $h=0{,}92\sqrt{\frac{Pl}{b}}$ сант.	$P=0{,}42\frac{bh^2}{l}$ килогр. $h=1{,}55\sqrt{\frac{Pl}{b}}$ сант.	$P=0{,}12\frac{bh^2}{l}$ килогр. $h=2{,}93\sqrt{\frac{Pl}{b}}$ сант.

1) Когда сѣченіе балки круглое или квадратное.



ф. 224.

Правило. Умножь числа, показанныя въ таблицѣ, и соотвѣтствующія матеріалу на кубъ діаметра или стороны балки въ сантиметрахъ и раздѣли произведеніе на длину ея въ метрахъ; частное покажетъ число килограммовъ, какое можетъ выдержать балка въ первомъ случаѣ.

Примѣръ. Какую тяжесть можетъ безъ опасности поддерживать круглый чугунный валъ въ 2,85 метра длиною и 20 сантим. въ діаметрѣ, лежащій на двухъ подшипникахъ и если грузъ дѣйствуетъ на срединѣ длины вала.

Во второмъ столбцѣ таблицы противу чугуна стоитъ число 0,25.

$$P=0{,}25\frac{d^3}{l}=0{,}25\,.\,\frac{20^3}{2{,}85}=0{,}25\frac{8000}{2{,}85}=700 \text{ килогр.}$$

Но такъ какъ этотъ валъ находится въ положеніи, соотвѣтствующемъ 4-му случаю, то онъ выдержитъ въ 4 раза больше, а именно

$$P_n=700\times4=2800 \text{ килогр.}$$

Если нужно взять во вниманіе вѣсъ вала, то половину его слѣдуетъ вычесть изъ найденной величины P_n. Вѣсъ вала $0{,}0314\,.\,2{,}85\,.\,7200=644$ килогр.; а его крѣпость $2800-322=2500$ килогр.

По общей формулѣ для 4 случая (фиг. 215) и по таблицѣ моментовъ инерціи (при $S=250$ и $l=285$ сантим.

$$P=4\,\frac{S}{l}\,.0{,}0982d^3=4\frac{250}{285}\,.0{,}0982\,.20^3=4\,.0{,}25\frac{20^3}{2{,}85}=2800 \text{ килогр.}$$

Правило. Умножь данный для поддержанія грузъ на длину балки въ метрахъ; кубическій корень изъ произведенія умножь на числа въ таблицѣ и произведеніе будетъ искомый діаметръ или сторона балки.

Примѣръ 1. Какой толщины должна быть желѣзная квадратная балка 4,8 метровъ длиною, лежащая свободно на двухъ подставкахъ и нагруженная на разстояніи отъ каждой изъ точекъ опоры 0,8 метра грузомъ, равнымъ $\frac{P}{2}=1800$ килогр.

Такое положеніе балки относится къ 11 случаю и потому она выдержитъ: длина балки 480 сант.; 480:80=6; 6.2=12, т. е. въ 12 разъ болѣе противу случая перваго,

слѣдов. въ разсчетъ надобно принять только грузъ $\frac{1800}{12}=150$ килогр., а для обоихъ грузовъ 300 килогр.

И такъ поступая по правилу: $300.4,8=1440$; $\sqrt[3]{1440}=11,3$; $11,3.0,95=10,7$ сант.

По формулѣ $h=0,95\sqrt[3]{Pl}$; здѣсь $P=\frac{P}{2}=1800$, $l=m=0,8$; $Pl=1800.0,8=1440$;

$h=0,95\sqrt[3]{1440}=10,7$ сантим.

По формулѣ для 11-го случая (фиг. 222) и по таблицѣ моментовъ инерціи для квадратнаго сѣченія (при $S=700$, $l=480$ сант. и $m=80$ сант.).

$$P=2\frac{l}{m}\frac{SJ}{le}=2\frac{480}{80}\cdot\frac{700}{480}\frac{b^3}{6}=3600;\ \text{откуда}\ b=\sqrt[3]{1200}=10,62\ \text{сант.}$$

2) Когда сѣченіе балки прямоугольное. Правило. Умножь число, стоящее въ таблицѣ и соотвѣтствующее матеріалу на ширину балки и квадратъ ея высоты въ сантиметрахъ и раздѣли на длину въ метрахъ; частное будетъ то число килограммовъ, какое брусъ можетъ выдержать въ первомъ случаѣ.

Примѣръ. Какой грузъ можетъ держать еловая балка, имѣющая ширину $b=30$ сант., высоту $h=32$ сант. и длину $l=6$ метр. между 2 точками опоры.

$$P=0.12\frac{bh^2}{l}=0,12\cdot\frac{30\cdot32^2}{6}=0,12\cdot5\cdot1024=0,6\cdot1024=744\ \text{килогр.}$$

Но такъ какъ балка находится въ положеніи 4-го случая, она выдержитъ вчетверо болѣе, т. е. $744.4=2976$ килогр. Если требуется принять во вниманіе еще вѣсъ балки то половину его нужно вычесть изъ 2976 килогр.

Удѣльный вѣсъ балки 0,55
Вѣсъ балки $0,3\cdot0,32\cdot6\cdot550=$ . . . . . 316 килогр.

Сопротивленіе балки укрѣпленной однимъ концомъ $744-158=586$ килогр.
" " лежащей на двухъ опорахъ $2976-158=2818$ килогр.

По формулѣ для 4-го случая при $S=70$, $b=30$, $h=32$ и $l=600$ сант. получимъ прямо

$$P=4\frac{SJ}{le}=4\frac{70}{600}\cdot\frac{30\cdot32^2}{6}=4\cdot0,12\frac{30\cdot32^2}{6}=2976\ \text{килогр.}$$

Правило. Умножь длину балки между точками опоры, въ метрахъ, на вѣсъ, какой назначенъ для поддержанія и раздѣли произведеніе на ширину балки въ сантиметрахъ; корень квадратный изъ частнаго умножь на число въ таблицѣ соотвѣтствующее матеріалу; получится высота балки въ сантиметрахъ.

Примѣръ. Чугунная балка, заложенная обоими концами въ стѣну, въ 5 метровъ длиною и 7 сантиметровъ шириною предназначена поддерживать грузъ 4000 килогр. Какая ея высота?

По условію балка находится въ положеніи случая 9-го, а потому вмѣсто 4000 килогр. въ разсчетъ надобно брать только $4000:8=500$ килогр. По правилу

$$h=1,55\sqrt{\frac{500.5}{7}}=1,55\sqrt{357}=1,55.18,9=29,3\ \text{сантим.}$$

3) Когда сѣченіе балки кольцеобразное.



ф. 225.

Правило. 1) Возьми разность четвертыхъ степеней внѣшняго и внутренняго діаметровъ и раздѣли ее на внѣшній діаметръ; 2) полученное частное умножь на число изъ таблицы для круглой балки и раздѣли на длину балки; новое частное будетъ число килограммовъ, какое балка можетъ поддерживать.

Примѣръ. Спрашивается наибольшее сопротивленіе чугуннаго пустотѣлаго вала, имѣющаго 4 м. длины, 20 сант. наружнаго и 15 сант. внутренняго діаметровъ.

По правилу: 1) $20^4=400^2=160000$; $15^4=225^2=50625$; $160000-50625=109375$;

$\frac{109375}{20}=5468{,}75$.

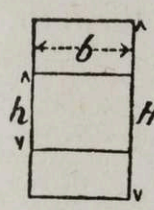
2) $5468{,}75 \cdot 0{,}25 : 4=341{,}8$ килогр.

Это будетъ безопасная нагрузка, а наибольшее сопротивленіе (крѣпость) вала $341{,}8 \cdot 5=1709$ килогр. Но такъ какъ валъ подпертъ въ двухъ точкахъ свободно онъ выдержитъ до излома $1709 \cdot 4=6836$ килогр.

По формулѣ для 4-го случая (фиг. 215) и по таблицѣ моментовъ инерціи для кольцеваго сѣченія (фиг. 94).

$$P=4\frac{SJ}{le}=4\frac{S}{l}\frac{\pi}{32}\frac{D^4-d^4}{D}=4\frac{250}{400} \cdot 0{,}0982\frac{20^4-15^4}{20}=4.0{,}25.5468{,}75:4=4.341{,}8=1367{,}2$$

а изламывающій грузъ будетъ въ 5 разъ болѣе. Можно было бы прямо вмѣсто S подставить 1250 килогр. и получить 6836 килогр.



ф. 226.

4) Когда сѣченіе балки прямоугольное съ пустотою въ срединѣ (фиг. 97).

Правило. 1) Разность кубовъ наружной и внутренней высотъ умножь на ширину и раздѣли на наружную высоту; 2) полученное частное умножь на число изъ таблицы для прямоугольной балки и раздѣли на длину балки въ метрахъ; частное будетъ сопротивленіе балки въ килограммахъ.

Примѣръ. Сколько можетъ выдержать сосновая ферма моста въ 15 метровъ длиною, у которой наружная высота=127 сант., внутренняя 75 сант., а ширина 25 сант.

По правилу 1) $127^3=2048383$
$75^3=421875$
1626508
$\frac{1626508 \cdot 25}{127}=320200$

2) $0{,}12 \cdot 320200 : 15=2550$.

Но для случая 4-го надобно взять въ 4 раза болѣе, слѣд. получимъ $2550 \cdot 4 = 10200$ килогр.

5) Когда балка — трубою (фиг. 188 и 196). Перемножь отдѣльно наружную и внутреннюю ширину на кубъ наружной и внутренней высоты и разность этихъ произведеній раздѣли на наружную высоту. Полученное частное умножь на число изъ таблицы для прямоугольныхъ балокъ и раздѣли на длину балки въ метрахъ; новое частное будетъ искомое число килограммовъ.

Примѣръ. Сколько можетъ выдержать мостъ длиною въ 18,3 метра, основанный на трехъ балкахъ изъ котельнаго желѣза въ $\frac{b}{2}=1{,}3$ сантиметра толщиною, когда высота этихъ балокъ равна $H=1{,}2$ метра, а ширина $B=0{,}3$ метра?

Внутренняя ширина $B-b=30-2.1{,}3=30-2{,}6=27{,}4$ сантиметра
„ высота $J=120-2.1{,}3=120-2{,}6=117{,}4$ „

По правилу $30.120^3=30.1728000=51840000$

$$27{,}4.117{,}4^3=27{,}4.1618096=\frac{44336830}{7503170} : 120=62526;\ 1{,}14 \cdot \frac{62526}{18{,}3}=3900 \text{ кил.}$$

Но какъ балка лежитъ на двухъ опорахъ, она выдержитъ въ 4 раза болѣе, т.-е. $3900 \cdot 4 = 15600$ килогр. Всѣ три трубы выдержатъ $3 \cdot 15600 = 46800$ килогр. Если мостъ самъ вѣситъ положимъ 20800 килогр., то на него можно грузить безопасно въ срединѣ $46800-20400 = 36400$ килогр.

6. Когда сѣченіе балки въ видѣ буквы T (фиг. 189 и 197).

Правило какъ въ 5. Примѣръ. Пусть требуется найти наибольшее сопротивленіе чугунной балки съ сѣченіемъ двутавровымъ, когда она однимъ концомъ задѣлана въ стѣну и имѣетъ: толщину тѣла

$b = 5$ сант., ширину $B = 20$ сант., наружную высоту $H = 25$ сант., внутреннюю $h = 25 - 2.5 = 15$ сант. и длину положимъ 4 метра.

По правилу: 1) Разность $H^3 - h^3 = 25^3 - 15^3 = 15625 - 3375 = 12250$, что надобно умножить на ширину B, то есть

$$12250 \cdot 20 = 245000.$$

2) Потомъ надобно умножить толщину тѣла на $h^3 = 5 \cdot 3375 = 16875$.

3) Оба произведенія сложить и раздѣлить на наружную высоту, то есть

$$\frac{245000 + 16875}{25} = 10475.$$

4) Затѣмъ число 10475 умножить на цифру изъ таблицы для прямоугольныхъ балокъ и раздѣлить на длину балки: $\frac{0{,}42 \cdot 10475}{4} = 1047$ килогр.

При грузѣ $5 \cdot 1047 = 5235$ кило балка сломается.

По формулѣ

$$P = 0{,}42 \frac{B(H^3 - h^3) + bh^3}{H \cdot l} = 0{,}42 \cdot \frac{20(15625 - 3375) + 5 \cdot 3375}{25 \cdot 4} = 1047 \text{ к.}$$

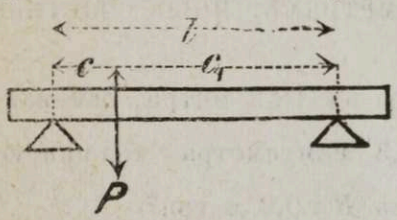
7) Когда балка составлена изъ листоваго и угловаго желѣза, сѣченіе по фиг. 198.

$$P = 1{,}14 \frac{[BH^3 - (B - B_1)h^3 - (B_1 - b)h_1^3]}{H}$$

8) Когда балка склепана изъ листоваго, полосоваго и угловаго желѣза, сѣченіе по фиг. 199

$$P = 1{,}14 \frac{[BH^3 - (B - B_1)H_1^3 - (B_1 - b)h^3 - (b - b_1)h_1^3]}{H}$$

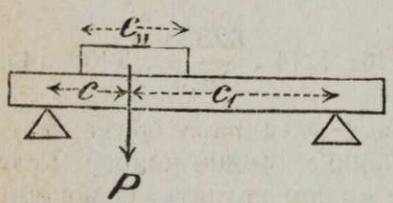
Если балка (фиг. 227) лежитъ обоими концами на опорахъ, а грузъ привѣшенъ не въ срединѣ, но гдѣ нибудь между срединою и концомъ балки и если нужно принять въ соображеніе и собственный вѣсъ P_1 балки или, если она кромѣ нагрузки P поддерживаетъ еще равномѣрно распредѣленный грузъ P_1 то



фиг. 227.

фиг. 227 . $$(P + 1/2 P_1)\frac{c \cdot c_1}{l} = WS$$

А если грузъ P_1 распредѣленъ равномѣрно на длинѣ c_{11} (фиг. 228), тогда



фиг. 228.

фиг. 228 . $$P\left(\frac{c \cdot c_1}{l} - \frac{c_1}{8}\right) + \frac{P_1 c . c_1}{l} = WS$$

Прогибъ въ точкѣ привѣса груза P (фиг. 227)

$$f = \left(P + \frac{l^2 + c.c_1}{8c.c_1} P_1\right) \frac{c^2 c_1^2}{3EJl}$$

По этимъ формуламъ составлена при заданныхъ отношеніяхъ c/l слѣдующая таблица, причемъ принято $P_1 = 0$ (l обозначаетъ длину балки въ *М.*, прочіе же размѣры слѣдуетъ выражать въ сантиметрахъ, P въ клгр.).

Таблица для балокъ, свободно лежащихъ на двухъ подставкахъ.

Форма сѣченія.	$\frac{c}{l}$	Желѣзо S=700 кг. на кв. см. P=	Желѣзо S=700 кг. на кв. см. d=	Чугунъ S=250 кг. на кв. см. P=	Чугунъ S=250 кг. на кв. см. d=	Дерево S=70 кг. на кв. см. P=	Дерево S=70 кг. на кв. см. d=
Кругъ. Діаметръ d	0,1 и. 0,9	$7{,}64\frac{d^3}{l}$	$0{,}51\sqrt[3]{Pl}$	$2{,}73\frac{d^3}{l}$	$0{,}71\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}76\frac{d^3}{l}$	$1{,}09\sqrt[3]{Pl}$
	0,2 и. 0,8	$4{,}29\frac{d^3}{l}$	$0{,}61\sqrt[3]{Pl}$	$1{,}53\frac{d^3}{l}$	$0{,}87\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}43\frac{d^3}{l}$	$1{,}32\sqrt[3]{Pl}$
	0,3 и. 0,7	$3{,}27\frac{d^3}{l}$	$0{,}67\sqrt[3]{Pl}$	$1{,}17\frac{d^3}{l}$	$0{,}95\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}33\frac{d^3}{l}$	$1{,}45\sqrt[3]{Pl}$
	0,4 и. 0,6	$2{,}86\frac{d^3}{l}$	$0{,}70\sqrt[3]{Pl}$	$1{,}02\frac{d^3}{l}$	$0{,}99\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}29\frac{d^3}{l}$	$1{,}52\sqrt[3]{Pl}$
	0,5	$2{,}75\frac{d^3}{l}$	$0{,}71\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}98\frac{d^3}{l}$	$1{,}01\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}27\frac{d^3}{l}$	$1{,}54\sqrt[3]{Pl}$
Квадратъ. Сторона d	0,1 и. 0,9	$12{,}96\frac{d^3}{l}$	$0{,}43\sqrt[3]{Pl}$	$4{,}63\frac{d^3}{l}$	$0{,}60\sqrt[3]{Pl}$	$1{,}30\frac{d^3}{l}$	$0{,}92\sqrt[3]{Pl}$
	0,2 и. 0,8	$7{,}29\frac{d^3}{l}$	$0{,}52\sqrt[3]{Pl}$	$2{,}60\frac{d^3}{l}$	$0{,}73\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}73\frac{d^3}{l}$	$1{,}11\sqrt[3]{Pl}$
	0,3 и. 0,7	$5{,}56\frac{d^3}{l}$	$0{,}56\sqrt[3]{Pl}$	$1{,}98\frac{d^3}{l}$	$0{,}80\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}56\frac{d^3}{l}$	$1{,}22\sqrt[3]{Pl}$
	0,4 и. 0,6	$4{,}86\frac{d^3}{l}$	$0{,}59\sqrt[3]{Pl}$	$1{,}74\frac{d^3}{l}$	$0{,}83\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}49\frac{d^3}{l}$	$1{,}27\sqrt[3]{Pl}$
	0,5	$4{,}67\frac{d^3}{l}$	$0{,}60\sqrt[3]{Pl}$	$1{,}67\frac{d^3}{l}$	$0{,}84\sqrt[3]{Pl}$	$0{,}47\frac{d^3}{l}$	$1{,}29\sqrt[3]{Pl}$
Прямоугольникъ. Высота d Ширина b	0,1 и. 0,9	$12{,}96\frac{bd^2}{l}$	$0{,}28\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$4{,}63\frac{bd^2}{l}$	$0{,}46\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$1{,}30\frac{bd^2}{l}$	$0{,}88\sqrt{\frac{Pl}{b}}$
	0,2 и. 0,8	$7{,}29\frac{bd^2}{l}$	$0{,}37\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$2{,}60\frac{bd^2}{l}$	$0{,}62\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$0{,}73\frac{bd^2}{l}$	$1{,}17\sqrt{\frac{Pl}{b}}$
	0,3 и 0,7	$5{,}56\frac{bd^2}{l}$	$0{,}42\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$1{,}98\frac{bd^2}{l}$	$0{,}71\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$0{,}56\frac{bd^2}{l}$	$1{,}34\sqrt{\frac{Pl}{b}}$
	0,4 и. 0,6	$4{,}86\frac{bd^2}{l}$	$0{,}45\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$1{,}74\frac{bd^2}{l}$	$0{,}76\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$0{,}49\frac{bd^2}{l}$	$1{,}43\sqrt{\frac{Pl}{b}}$
	0,5	$4{,}67\frac{bd^2}{l}$	$0{,}46\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$1{,}67\frac{bd^2}{l}$	$0{,}77\sqrt{\frac{Pl}{b}}$	$0{,}47\frac{bd^2}{l}$	$1{,}46\sqrt{\frac{Pl}{b}}$

Примѣръ. Опредѣлить сторону квадратной вязовой балки въ 6 метровъ длиною, долженствующей поддерживать грузъ въ 3280 килогр., который привѣшенъ на разстояніи 1,8 метра отъ одного конца.

Слѣдовательно длинный конецъ балки=4,2 метра, короткій 1,8. По правилу такая балка выдержитъ: $\frac{6^2}{1,8.4,2}=4,76$ разъ болѣе противу случая 1-го. И потому надобно взять въ разсчетъ грузъ не 3280 кило, а только $\frac{3280}{4,76}=690$ кило.

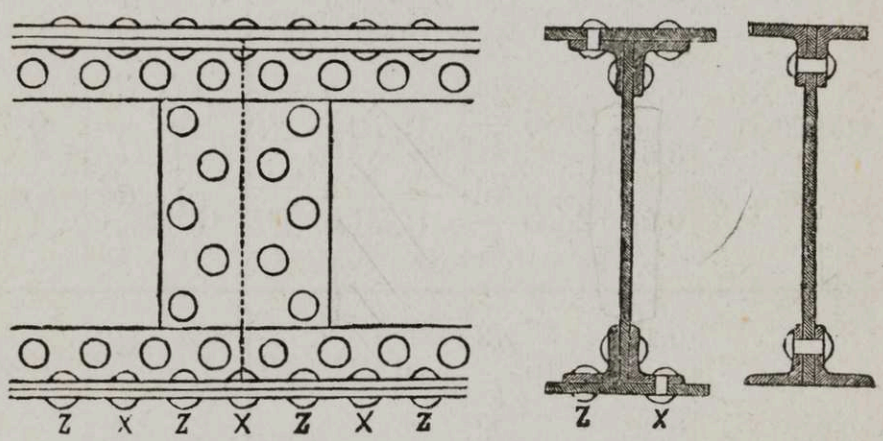
По таблицѣ 1-й имѣемъ

$$h=2,05\sqrt[3]{Pl}=2,05\sqrt[3]{690.6}=2.05.16.07=32,94 \text{ сантиметра.}$$

По таблицѣ 2-й имѣемъ при $c:l=0,3$

$$h=1,22\sqrt[3]{Pl}=1.22\sqrt[3]{3280.6}=1,2227=32,94 \text{ сантиметра.}$$

78. **Разсчетъ склепанныхъ желѣзныхъ балокъ** (Котельныя фермы). Наиболѣе часто встрѣчающаяся въ практикѣ желѣзная конструкція — простая балка изъ желѣзныхъ листовъ— представлена нафиг. 229—231. Она состоитъ изъ вертикальн. стѣнки, соединенной заклепками съ четырьмя желѣзными угольниками, къ которымъ нерѣдко приклепываютъ еще желѣзные листы (поясы). Моментъ инерціи сѣченія такой балки, отнесенный къ оси, проходящей черезъ центръ тяжести, выражается: (см. фиг. 233).



фиг. 229—231.

$$J=\frac{1}{12}(bh^3-2b_1h_1^3-2b_2.h_2^3-2b_3h_3^3). \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

при чемъ b и b_1 означаютъ горизонтальные размѣры за вычетомъ діаметровъ заклепокъ.

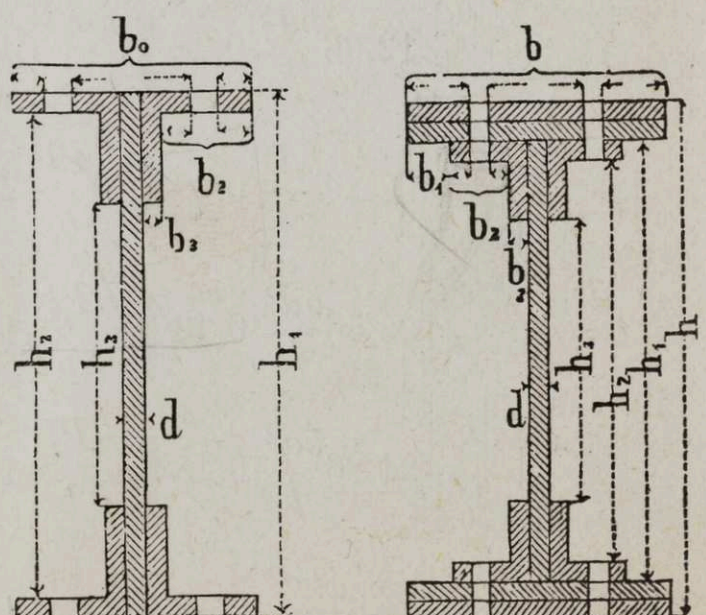
Моментъ сопротивленія для поперечнаго сѣченія.

$$W=\frac{2J}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Такъ какъ обыкновенно нагрузка дается, а ищется W, то, опредѣливъ значеніе для W, соотвѣтствующее данному способу дѣйствія нагрузки, именно:

$$W=\frac{M}{S}\left(\frac{\text{Наиб. сгибающ. моментъ}}{\text{допускаемое напряженіе}}\right)$$

приходится выбрать профиль для балки и смотрѣть, равенъ-ли его модуль сопротивленія



фиг. 232—233.

требуемому, или нѣтъ; если нѣтъ, то профиль приходится измѣнять до тѣхъ поръ, пока его модуль W достаточно близко подойдетъ къ требуемому. Такой способъ дѣйствія очень продолжителенъ; здѣсь приведенъ болѣе удобный способъ.

Прежде всего выбираютъ надлежащіе размѣры вертикальной стѣнки и угловаго желѣза, при чемъ полагаютъ, что высота балки должна быть опредѣлена. Послѣ этого вычисляютъ для принятаго поперечнаго сѣченія моментъ инерціи (фиг. 232).

$$J_0 = \frac{1}{12}(b_0 h_1^3 - 2b_2 h^3{}_2 - 2b_3 h^3{}_3) \ldots\ldots\ldots (3)$$

моментъ сопротивленія:

$$W_0 = \frac{2J_0}{h_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

и допускаемый сгибающій моментъ:

$$M_0 = SW_0 \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Если, теперь, M_0 меньше дѣйствительнаго сгибающаго момента, то балку укрѣпляютъ поясными листами; сумма поперечныхъ сѣченій листовъ одного пояса опредѣляется изъ приблизительной формулы:

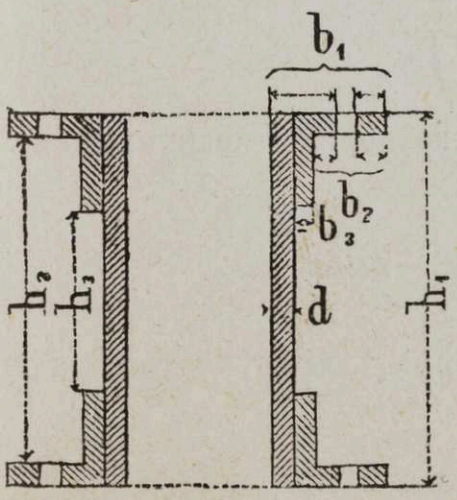
$$f = \frac{M}{Sh_1} - \frac{2J_0}{h^2{}_1} \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Разъ число и толщина листовъ выбрана вычисленіемъ f, то искомую ширину листовъ опредѣляютъ точнѣе. Будемъ имѣть:

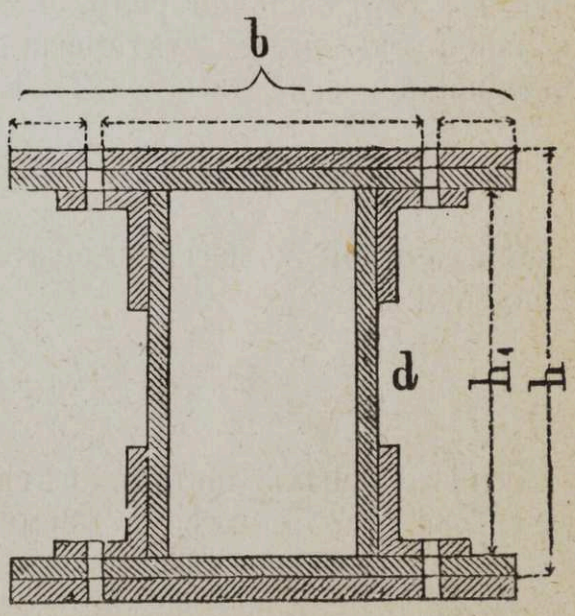
$$b = \frac{12(J - J_0)}{h^3 - h_1^3} \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

Ширина накладокъ b не дѣлается менѣе $b = 15 + 0{,}5l$ сант., гдѣ l есть величина пролета въ метрахъ.
при чемъ:

$$J = \frac{Wh}{2} = \frac{Mh}{2S} \ldots\ldots\ldots\ldots (8).$$



фиг. 234.



фиг. 235.

Далѣе возможно уже опредѣлить модуль сопротивленія такого поперечнаго сѣченія, чтобы накладывать нужно было только часть числа поясныхъ листовъ, потребнаго для опаснаго сѣченія. Если, напр. въ томъ мѣстѣ, гдѣ сгибающій моментъ имѣетъ наибольшую величину, требуется 3 поясныхъ листа, то опредѣляютъ такіе модули сопротивленія, которые получаются отъ наложенія одного или двухъ поясныхъ листовъ. При этомъ нужно замѣтить, что выраженіе (3) для момента инерціи J_0 отъ прибавленія листовъ принимаетъ видъ;

$$J = J_0 + \frac{b}{12}(h^3 - h_1^3) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Совершенно подобнымъ же образомъ поступаютъ при опредѣленіи размѣровъ трубчатыхъ балокъ. Здѣсь (см. обозначенія на фиг. 234).

$$J_0 = \frac{1}{6}(b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3 - b_3 h_3^3) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

$$W_0 = \frac{2J_0}{h_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

$$M_0 = SW_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

и для поперечнаго сѣченія на фиг. 235:

$$\left.\begin{aligned} J &= J_0 + \frac{b}{12}(h^3 - h_1^3) \\ W &= \frac{2J}{h} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Шагъ заклепокъ (разстояніе между центрами) e для простой балки вычисляется по формулѣ:

$$e = \frac{2Sd\delta J}{\mathfrak{S}V} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

гдѣ V=вертикальной силѣ, δ=діаметру заклепки, d=толщинѣ вертикальной стѣнки, $\mathfrak{S}$ статическій моментъ одного пояса отнесенный къ нейтральной оси.

$$\mathfrak{S} = \mathfrak{S}_0 + \frac{b}{8}\left(h^2 - h_1^2\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Статическій моментъ угловаго желѣза одного пояса относительно нейтральной оси.

$$\mathfrak{S}_0 = \frac{1}{8}\left[(b_0 - d)\, h_1^2 - 2b_2 h_2^2 - 2dh_3^2\right] \quad \ldots\ldots \quad (16)$$

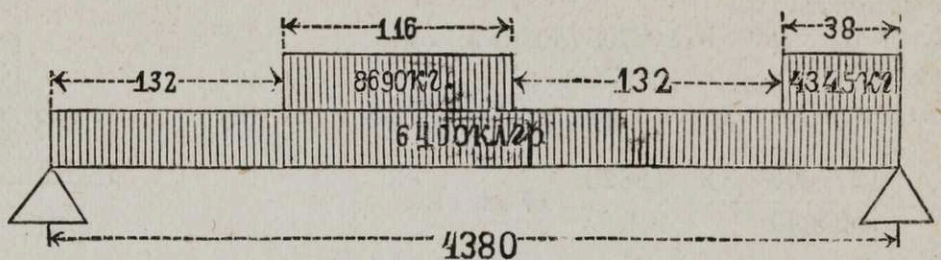
Если поясныхъ листовъ нѣтъ, то $\mathfrak{S} = \mathfrak{S}_0$. Для трубчатой балки, фиг. 234 и 235, имѣемъ формулу:

$$e = 2\left(\frac{\pi\delta^2}{4}\right)\frac{SJ}{\mathfrak{S}V} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

гдѣ $$\mathfrak{S}=\mathfrak{S}_0+\frac{b}{8}(h^2-h_1^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

$$\mathfrak{S}_0=\frac{1}{4}\left[(b_1-d)\,h_1^2-b_2h_2^2-dh_3^2\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

Въ формулахъ (14) и (17) полагаютъ по большей мѣрѣ $S=600$ килогр. на кв сантиметръ. Если изъ формулъ получается $e>6\delta$, то принимаютъ $e=6\delta$.



фиг. 236.

Толщина вертикальныхъ листовъ. Наименьшая толщина листовъ котельнаго желѣза есть

$$d=\frac{5\,V.\mathfrak{S}}{4JS.}$$

Вышеприведенную величину S надобно увеличить на $\frac{1}{8}\,dp^2$. Величина для J остается неизмѣнной. Если по послѣдней формулѣ получится $d<8$ мм. то дѣлаютъ $d=8$ мм. (вслѣдствіе возможности сквознаго проржавливанія слишкомъ тонкихъ листовъ). Большею же частію во всякихъ мостахъ встрѣчается $d=10$ мм.

Примѣръ 1. Разсчетъ оконнаго устройства, состоящаго изъ оконнаго отверзтія шириною въ 4,38 м. и створчатыхъ ставней шириною въ 1,9 м. Фронтовая стѣна должна быть подперта 3 балками. (Фиг. 236).

Разсматриваемъ внутреннюю балку, какъ наиболѣе нагруженную. Она нагружена черезъ посредство потолочныхъ балокъ подвальнаго этажа нагрузкой въ $\frac{1}{2}\times4{,}38\times5{,}4\times500=5913$ килогр.; принимая во вниманіе собственный вѣсъ балки (среднимъ числомъ 100 килогр. погон. метра), считаемъ эту нагрузку въ 6400 кило. Нагрузка отъ одного изъ оконныхъ столбовъ, имѣющаго въ ширину 1,16 м. найдена равной 26067 кило., такъ что на каждую балку приходится $\frac{26067}{3}=\backsim 8690$ кило.

Способъ нагрузки виденъ на фиг. 236. Давленія на опоры суть:

$$A=\frac{6400}{2}+\frac{4345\times0{,}29+8690\times2{,}48}{4{,}38}=8408,\ B=6400+4345+8690-8408=11027 \text{ килогр.}$$

Опасное поперечное сѣченіе, какъ видно, находится подъ столбомъ, имѣющимъ 8690 кило и на разстояніи x отъ сѣченія I. Для вычисленія x служитъ уравненіе:

$$8408=\frac{6400}{4{,}38}.1{,}32+\left(\frac{8690}{1{,}16}+\frac{6400}{4{,}38}\right)x;\ 8408=1929+8593x,\ \text{откуда}\ x=\frac{8408-1920}{8593}=0{,}72 \text{ м.}$$

Наибольшій моментъ $$M_{max}=8408\times2{,}04-\frac{6400}{4{,}38}.2{,}04.\frac{2{,}04}{2}-\frac{8690}{1{,}16}.0{,}72\times\frac{0{,}72.}{2}$$

$M_{max}=17152-3040-1942=12170$ кило.; такимъ образомъ искомое $W=\frac{121700}{750}=1623.$

Для такого **модуля сопротивления** можно употреблять еще прокатную *I* балку; но въ конструктивныхъ видахъ лучше выбрать клепанную балку изъ листоваго желѣза съ высотою стѣнки въ 400 [1]) мм.

Если размѣры угловаго желѣза суть 7 см.×7 см.×1,0 см. и соотвѣтственно этому выбираютъ заклепки съ діаметромъ въ 2 см , то для сѣченія, фиг. 237, получаютъ:

$$J_0=\frac{1}{12}\left[11.40^3-2.4.38^3\ \ 2.1.26^3\right]=18823$$

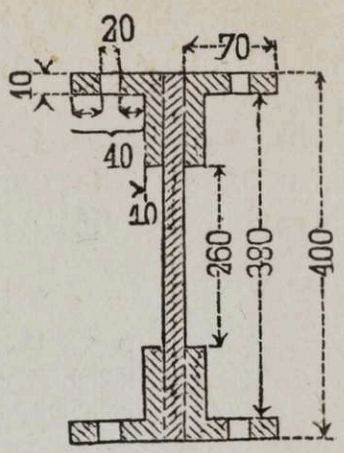
$$W_0=\frac{2J_0}{40}=941,$$

допускаемый моментъ

$$M_0=SW_0=750\,.\,941=705750 \text{ кил. см.}$$

Такъ какъ $M_0<M_{max}=1217000$ клсм., то необходимо употреблять пояс̀ные листы (фиг. 238). По формулѣ (6) имѣемъ:

$$f=\frac{1217000}{750\times40}-\frac{2\,.\,18823}{40^2}=17 \text{ кв. см.}$$



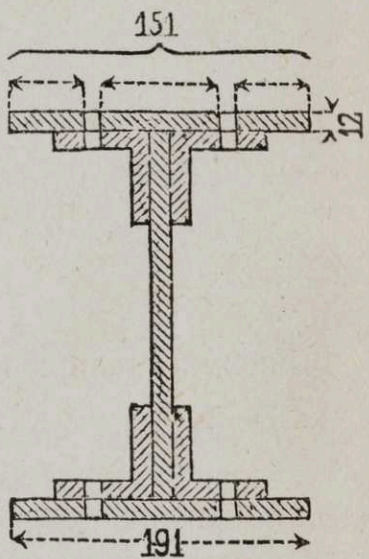
фиг. 237.

Поясъ, имѣющій въ ширину 19 см. и въ толщину 1,2 ст. имѣетъ $f=(19-2\ 2{,}0)\ 1{,}2=18$ кв. см., такъ какъ онъ ослабляется двумя заклепками, и это достаточно.

Поэтому **высота балки** равна $40+2.1{,}2=42{,}4$ см.; такимъ образомъ получаемъ точнѣе $b=\frac{12(J-J_0)}{h^3-h_1{}^3}$, гдѣ

$$J=W\frac{h}{2}=1623.\frac{42{,}4}{2}=34206;\quad b=\frac{12\,(34206-18823)}{42{,}4^3-40{,}0^3}=15{,}1 \text{ см.}$$

а имѣя въ виду ослабленіе двумя заклепками, получимъ для ширины пояса: $15{,}1+2.2{,}0=19{,}1$ см.



фиг. 238.

Вблизи опоры, если $M<M_0$, пояснаго листа можетъ и не быть. **Моментъ для сѣченія** *I* (фиг. 236).

$$M=8408\ 1{,}32-\frac{6400}{4{,}38}.1{,}32\frac{1{,}32}{2}=9826 \text{ клм.}$$

т. е. больше чѣмъ $M_0=7057{,}5$ клм. и, слѣдовательно, допускаемая величина M_0 для балки безъ пояснаго листа будетъ относиться къ сѣченію влѣво отъ *I* на разстояніи z отъ *A*. Будемъ имѣть уравненіе:

$$7057{,}5=8408Z-\frac{6400}{4{,}38}Z\frac{Z}{2};\quad Z^2-11{,}51=-25{,}76;\quad Z=\frac{11{,}51}{2}-\sqrt{\frac{11{,}51^2}{4}-25{,}76}=1{,}4 \text{ м.}$$

Если аналогично этому принять сгибающій моментъ M_0 для сѣченія на разстояніи Z_1 отъ опоры *B*, то получимъ:

$$7057{,}5=11027.Z_1-4345\left(Z_1-\frac{0{,}58}{2}\right)-\frac{6400}{4{,}38}Z_1\frac{Z_1}{2};\quad 5797=6682Z_1-\frac{6400}{4{,}38}.Z_1\frac{Z_1}{2};$$

$$Z^2{}_1-9{,}15\,Z_1=7{,}93 \text{ и отсюда}$$

$$Z_1=\frac{9{,}15}{2}-\sqrt{\frac{9{,}15^2}{4}-7{,}93}=0{,}97 \text{ м.}$$

Обыкновенно листъ дѣлаютъ нѣсколько длиннѣе, чѣмъ требуется.

Шагъ заклепокъ *e* зависитъ, какъ видно изъ формулы (14), отъ вертикальной силы. Наибольшую величину эта сила имѣетъ на опорѣ *B*, именно: $V_{max}=B=11027$ кл.

Такъ какъ здѣсь пояснаго листа нѣтъ, то по формулѣ (16)

$$\mathfrak{S}=\mathfrak{S}_0=\frac{1}{8}\left[(11-1{,}0)\,40^2-2.4.38^2-2.1{,}0.26^2\right]=387;\quad J=J_0=18823, \text{ слѣд. при } S=700$$

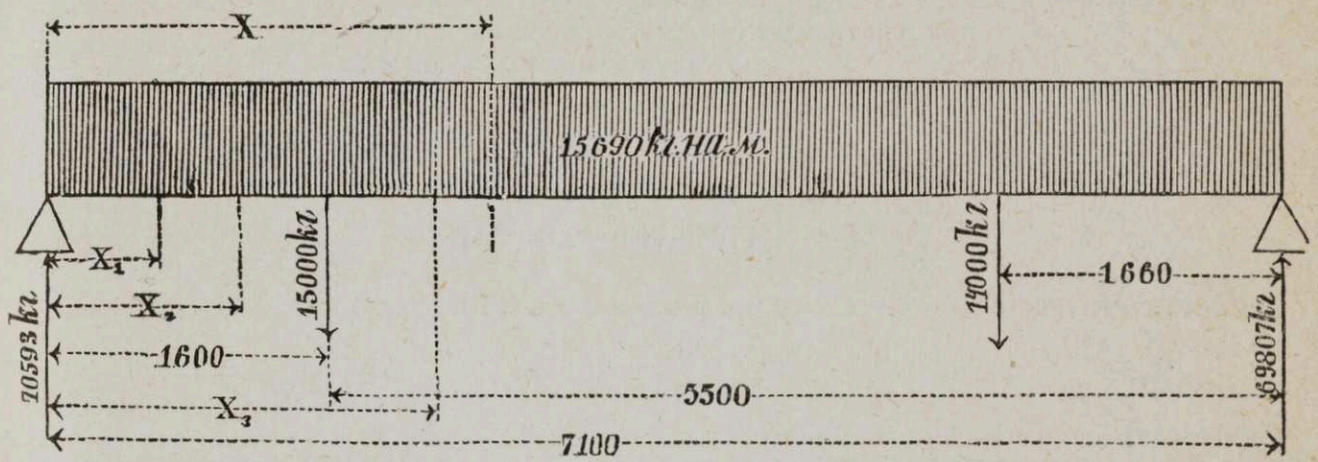
$$e=\frac{2.700.2{,}0.1{,}0.18823}{387.11027}=12{,}4 \text{ см.}$$

---

[1]) Недостаточная высота конструкціи заставляетъ во многихъ случаяхъ прибѣгать къ употребленію клепанной балки.

Принимаютъ вмѣсто этого $e=6d=6.2=12$ см. Для другихъ двухъ балокъ, расположенныхъ надъ отверстіемъ, всего лучше брать двутавровое желѣзо.

Примѣръ 2. Разсчетъ трубчатой балки, служащей для поддержки сильн. нагруженной внутренней стѣны зданія; сама балка опирается на чугунныхъ колоннахъ, разстояніе между которыми равно 7,10 см. Высота вертикальныхъ стѣнокъ балки берется равной 70 см., въ тѣхъ видахъ, чтобы не получить очень толстыхъ поясовъ и черезмѣрно нагруженныхъ склепываній. Нагрузка трубчатой балки видна на фиг. 239 и на таб. 21.



фиг. 239.

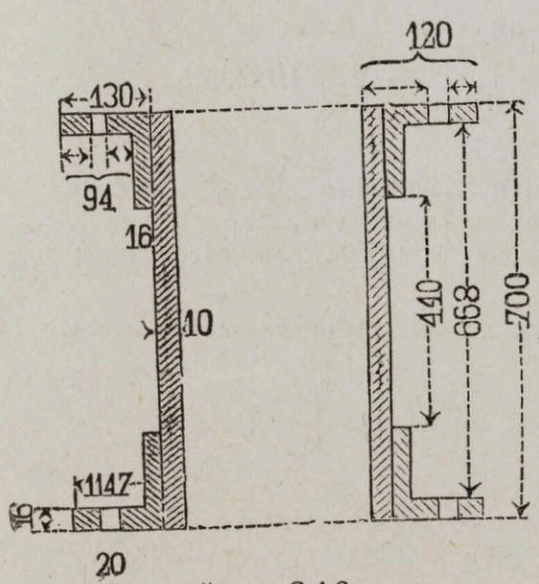
Стѣна и этажныя балки (которыя опираются на консоли, приклепанные къ трубчатой балкѣ) производятъ равномѣрную нагрузку въ 15690 кило на погонный метръ. На трубчатую балку опираются еще двѣ двутавровыя балки, служащія для поддержки промежуточныхъ простѣнковъ. Онѣ производятъ нагрузку, *I* въ 15000 кл., *II* въ 14000 кл.—Давленія на опоры будутъ:

$$A=\frac{14000.1,66+15000.5,50}{7,10}+\frac{15690.7,10}{2}=70593 \text{ кл.};\quad B=69807 \text{ кл.}$$

Опасное поперечное сѣченіе *C* лежитъ между *I* и *II*: разстояніе его x отъ опоры *A* получится изъ уравненія: $70593=15000+15690x$, откуда $x=3,54$ т. Такимъ образомъ наибольшій сгибающій моментъ

$$M_{max}=70593.3,54-15000\ 3,54-1,60)-15690.3,54.\frac{3,54}{2}$$

$$M_{max}=122489\ kgm=12248900 \text{ клсм.}$$



фиг. 240.

Беремъ угловое желѣзо, имѣющее размѣры 13×13×1,6 см.

Размѣры вертикальныхъ стѣнокъ балки: 70×1,0 ст. Діаметръ заклепокъ $d=2,0$ см.

Для сѣченія, изображеннаго на фиг. 240 имѣемъ:

$$J_0=\frac{1}{6}\left[12.70^3-9,4.66,8^3-1,6.44,0^3\right]=196296;$$

слѣдов. искомое сѣченіе одного пояснаго листа, по форм. (6):

$$f=\frac{12248900}{750.70}-\frac{2.196296}{70^2}=152 \text{ кв. см.}$$

Четыре листа, шириною въ 42 см., толщиною въ 1,0 см. каждый имѣютъ поперечное сѣченіе (за вычетомъ двухъ отверстій для заклепокъ):

$$f=4\ (42,0-2.2,0)\ 1,0=152 \text{ кв. см.}$$

Вся вышина балки будетъ

$$J=70+2.4.1,0=78 \text{ см.}$$

и болѣе точная ширина листовъ (по формулѣ 7)

$$b = \frac{12(J-J_0)}{J^3-J_1^3}, \text{ гдѣ } J = \frac{MJ}{2k} = \frac{12248900}{2.750} = 636943,$$

такъ что

$$b = \frac{12.(636943-196296)}{78^3-70^3} = 40{,}2 \text{ см.}$$

сюда нужно еще прибавить два діаметра заклепокъ, такъ что вся ширина будетъ = 44,2 см.

И такъ моменты инерціи поперечнаго сѣченія
при употребленіи одного пояснаго листа
" " двухъ поясныхъ листовъ
" " трехъ " "

суть: $J_1 = J_0 + \frac{1}{12}(72^3 - 70^3)\ 40{,}2 = 297627$ $J_2 = J_0 + \frac{1}{12}(74^3-70^3)\ 40{,}2 = 404746$ и

$$J_3 = J_0 + \frac{1}{12}(76^3-70^3)\ 40{,}2 = 517816.$$

Соотвѣтствующіе модули сопротивленія суть:

$$W_1 = \frac{2J_1}{72} = 8287; \qquad W_2 = \frac{2J_2}{74} = 10939; \qquad W_3 = \frac{2J_3}{76} = 13627$$

и допускаемые сгибающіе моменты:

$M_1 = k W_1 = 750.8287 = 6200250$ кл. см. $M_2 = 750.10939 = 8204250$ кл. см.

$$M_3 = 750.13627 = 10220250 \text{ кл. см.}$$

слѣдов., въ киллограммометрахъ : $M_1 = 62002{,}5$; $M_2 = 82042{,}5$; $M_3 = 102202{,}5$.

Первый поясной листъ накладывается отъ одной опоры до другой. Одного такого листа достаточно, если только сгибающій моментъ меньше, чѣмъ $M_1 = 62002{,}5$ кл. м. Положеніе x_1, отъ котораго долженъ начинаться второй листъ, опредѣляется изъ уравненія:

$$70593x_1 - 15690x_1\frac{x_1}{2} = M_1 = 62002{,}5, \text{ т. е. } x_1^2 = 9{,}00x_1 - 7{,}90.$$

отсюда

$$x_1 = \frac{9{,}00}{2} - \sqrt{\frac{9{,}00^2}{4} - 7{,}90} = 0{,}99 \text{ м.}$$

Начало третьяго листа идетъ отъ x_2; имѣемъ:

$$70593x_2 - 15690x_2\frac{x_2}{2} = M_2 = 82042{,}5$$

откуда $$x_2 = 1{,}37M.$$

Наконецъ, для опредѣленія четвертаго листа имѣемъ условіе:

$$70593x_3 - 15690x_3\frac{x_3}{2} = 15000(x_3 - 1{,}60) = M_3 = 102205{,}5$$

отсюда $$x_3 = 1{,}93M.$$

Такимъ же путемъ можно бы было опредѣлить разстоянія x'_1, x'_2, x'_3. Они нѣсколько больше разстояній x_1, x_2, x_3; но цѣлесообразнѣе взять $x'_1 = x_1$, $x'_2 = x_2$, $x'_3 = x_3$. Длина листовъ берется немного больше противъ вычисленной, для того чтобы получить равномѣрное распредѣленіе заклепокъ.

Переходя къ опредѣленію шага между заклепками, вычисляютъ по форм. (19) для сѣченія (фиг. 240):

$$\left[\mathfrak{S}_0 = \frac{1}{4}(12-1)70^2 - 9{,}4\ .\ 66{,}8^2 - 1{,}6\ .\ 44^3.\right] = 1964$$

и для сѣченія у опоры (одинъ поясной листъ)

$$\mathfrak{S} = 1964 + \frac{40{,}2}{8}(72^2 - 70^2) = 3391).$$

Тогда по формулѣ (17)

$$e = \frac{\pi\delta^2 SJ}{2\mathfrak{S}V}.$$

Сюда нужно вставить: $J = J_1 = 297627$; $\mathfrak{S} = 3391$; $V = A = 70593$; $S = 700$

$d = 2{,}0$ ст., слѣдов. $\frac{\pi\delta^2}{2} = 6{,}28$;

Такимъ образомъ

$$e = \frac{6{,}28 \cdot 700 \cdot 297627}{3391 \cdot 70593} = 5{,}5 \text{ см.}$$

Принимаемъ $e = 6$ см., но за то вблизи опоръ принимаемъ д і а м е т р ъ заклепокъ $= 2{,}2$ см.

Въ такомъ случаѣ $\frac{\pi\delta^2}{2} = 7{,}60$ и допускаемый шагъ между заклепками $=$

$$5{,}5 \cdot \frac{7{,}60}{6{,}28} = 6{,}7 \text{ снм.}$$

По серединѣ, гдѣ вертикальныя силы меньше, заклепки располагаются въ большемъ другъ отъ друга разстояніи. Здѣсь шагъ равенъ $6d = 6 \cdot 2{,}0 = 12$ см., такой шагъ начинается именно на разстояніи 2 м. отъ опоры. Здѣсь имѣются уже 4 поясныхъ листа и $J = 636943$, далѣе $\mathfrak{S} = 1964 + \frac{40{,}2}{8}(78^2 - 70^2) = 7909$; $V = 70593 -$ $- 15000 - 15690 \cdot 2{,}0 = 24213$ кг., слѣдов. допускаемое разстояніе между заклепками (шагъ)

$$e = \frac{6{,}28 \cdot 700 \cdot 636943}{7909 \cdot 24213} = 15 \text{ см.}$$

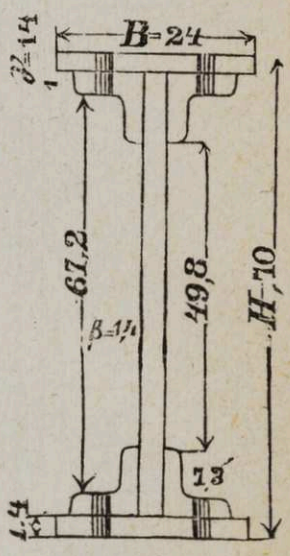
П р и м ѣ р ъ 3. Катающійся кранъ для мастерскихъ. Подъемная сила крана $= 300$ центнеровъ; пролетъ (отъ средины до средины рельсовъ) $= 10{,}5$ м.

1. Р а з с ч е т ъ б а л к и. Къ наибольшей нагрузкѣ балки 300 центн. $= 15000$ кило, прибавляется еще вѣсъ ворота 100 центн. $= 5000$ кило; полная нагрузка $Q = 20000$ килогр.

Для прямоугольнаго поперечнаго сѣченія при допускаемомъ напряженіи желѣза $s = 600$ клгр. на кв. ст. имѣемъ.

$$\frac{Ql}{4} = \frac{1}{6} bh^2 \text{ или } \frac{1}{6} bJ = \frac{20000 \times 10{,}5}{4 \cdot 600} = 8750; bJ^2 = 52500.$$

Примемъ $J = l : 15 = 1050 : 15 = 70$ ст.; слѣд. $b = 52500 : 4900 = 10{,}6$ ст. Употребимъ двѣ балки, толщина каждой 5,3 см. Высота J на серединѣ къ обоимъ концамъ уменьшается до $0{,}7J$; такъ что высота на концахъ $J_1 = 50$ см.



фиг. 241.

Для превращенія прямоугольной формы сѣченія въ двутавровую служитъ слѣдующая приблизительная формула: фиг. 241 клепаная балка.

$$\frac{B}{p} = \frac{1}{1-\alpha}, \text{ при чемъ}$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{\beta}{B}\right)\left(1 - \frac{2\gamma}{H}\right)^3$$

Примемъ $\beta : B = 0{,}06$ и $2\gamma : H = 0{,}03$, тогда

$$\alpha = (1 - 0{,}06)(1 - 0{,}06)^3 = 0{,}78.$$

Слѣд. $\frac{B}{b} = \frac{1}{1-\alpha} = \frac{1}{1-0{,}78} = 4{,}5$; $B = 4{,}5 \cdot 5{,}3 = 23{,}8 = 24$ ст.; $\beta = 0{,}06 \times 24 = 1{,}4$ ст.; $\gamma = 0{,}03H = 0{,}03 \times 70 = 2{,}1$ см.

При употребленіи 4 желѣзныхъ уголковъ средней толщины 1,4 ст., за исключеніемъ 4 сѣченій заклепокъ, все-таки останется еще очень значительное усиленіе поясовъ; такъ что можно принять толщину листоваго желѣза въ 1,4 ст. во всѣхъ частяхъ. Пусть ширина угловаго желѣза $\beta = 8{,}7$ ст.; діаметръ заклепокъ 2,3 ст.; разстояніе между ними 9 ст. Для испытанія этого приблизительнаго опредѣленія поперечнаго сѣченія имѣемъ:

$$J = {}^1/_{12}(70^3\times24 - 67{,}2^3\times5{,}2 - 64{,}4^3\times14{,}6 - 49{,}8^3\times2{,}8):$$

$$M = WS = \frac{J}{e}\times S = \frac{J}{35}S;\quad M = P\frac{l}{4} + Q\frac{l}{8}.$$

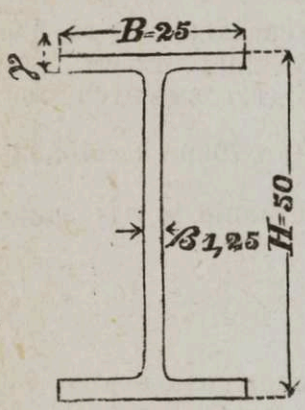
Здѣсь $P = 15000 + 5000 = 20000$ кг. Собственный вѣсъ балки $Q = 5000$ кило; $l = 1050$ сант.

$$S = \frac{35M}{J} \text{ и } M = (20000\times262{,}5 + 5000\times131):2 = 2952500$$

$$S = \frac{12\times35\times2952500}{70^3\times24 - 67{,}2^3\times5{,}2 - 64{,}4^3\times14{,}6 - 49{,}8^3\times2{,}8 - 4{,}6\underbrace{(70^3 - 64{,}4^3)}} = 600,$$

сѣченіе заклепки.

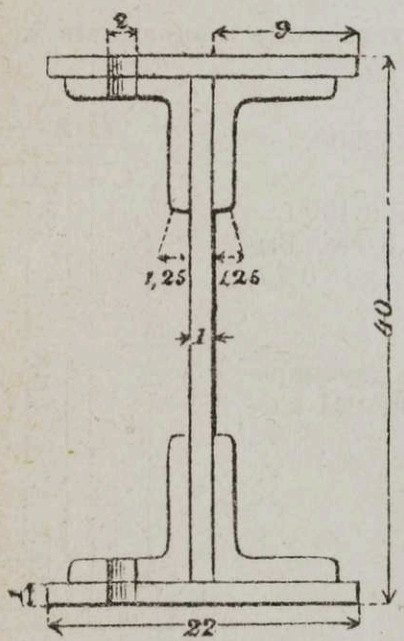
Чтобы еще болѣе увеличить надежность, примемъ $h = 80$ ст. (вмѣсто 70), а на концахъ $0{,}7\times80 = 56$ ст.



фиг. 242.

Если бы нужно было перейти отъ балки прямоугольнаго сѣченія къ двутавровой прокатной, то принимаютъ $\beta = 0{,}05\ B$ и $\gamma = 0{,}02H$, такъ что $\alpha = (1 - 0{,}05)\ (1 - 0{,}04) = 0{,}84$; $1 - \alpha = 0{,}16$ и $B = 6{,}25b$. При $H = 50$ ст. и $b = 4$ ст., имѣли бы $B = 25$ ст.; $\beta = 0{,}05b = 1{,}25$ ст., $\gamma = 0{,}02\ H = 1$ ст. (фиг. 242).

При опредѣленіи размѣровъ балки можно идти другимъ обратнымъ путемъ, именно задаются размѣрами сѣченія и по уравненію $M = Ws$ вычисляютъ величину s; если она значительно уклоняется отъ 550, то принимаютъ размѣры сѣченія иначе, опять вычисляютъ s и повторяютъ это до тѣхъ поръ, пока допускаемая нагрузка не будетъ приблизительно равна названной величинѣ. Для прокатныхъ балокъ уже существуютъ таблицы, по которымъ моментъ инерціи J и величина W берутся прямо; тогда предварительно задаются величиною S и опредѣляютъ W, по которой и выбираютъ сѣченіе балки.



фиг. 243.

Примѣръ. 4. Пусть $P = 10800$; $Q = 2000$; $l = 686$ ст.; то $M = P\frac{l}{4} + Q\frac{l}{8} = 2023700$ сгибающій моментъ для обѣихъ балокъ катающагося крана; для одной $= 1020000$ клрснм. Задаемся сѣченіемъ клепаной балки по фиг. 243 тогда по стр. 220 фиг. 199 имѣемъ

$$J = {}^1/_{12}(40^3.22 - 38^3.3 - 35{,}5^3.15{,}5 - 20^3.2{,}5 - (40^3 - 35{,}5^3)4$$

$$= \frac{452877}{12};\quad W = \frac{2J}{H};\quad S = \frac{12.20.1020000}{452887} = 540 \text{ клгр.}$$

Слѣд. размѣры приняты достаточные.

Примѣръ 5. Чугунный балансиръ, подвѣшенный срединою къ литейному крану, поддерживаетъ наибольшій грузъ (котелъ съ чугуномъ, опока съ землею или грузъ на опоки) $P = 2000$ килогр. Разстояніе крайней точки подвѣса груза отъ точки подвѣса балансира $L = 1$ метр. (вся длина балансира, зависящая отъ длины поднимаемой вещи, будетъ 2 метра). По Ледебуру, если b ширина и h высота прямоугольнаго сѣченія балансира, то для опаснаго сѣченія

$$bh^2 = \frac{PL}{1{,}6};\quad h = \sqrt{\frac{PL}{1{,}6b}};\quad L = 1 \text{ м. и } b = 3 \text{ сант.}$$

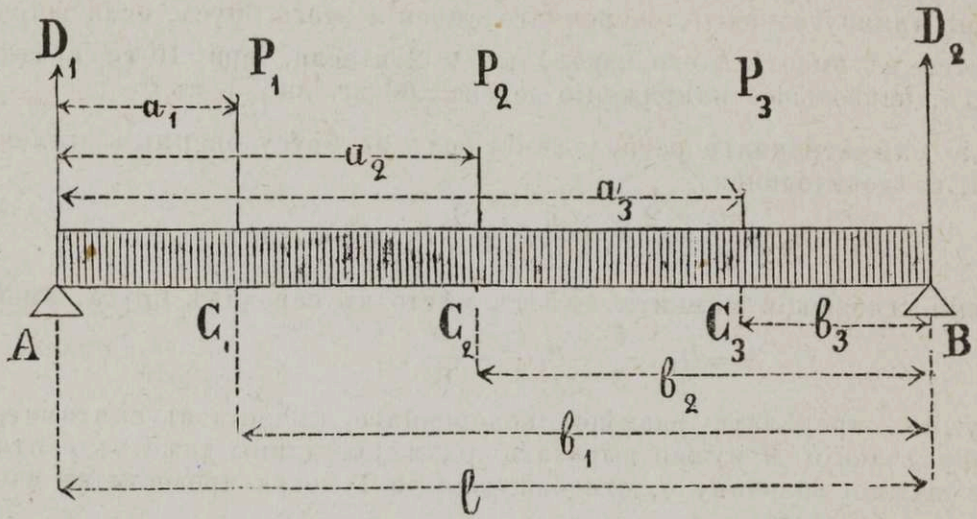
(b берется отъ 2,5 до 5 сант. смотря по длинѣ и по грузу). Тогда

$$bh^2 = \frac{2000.1}{1{,}6} = 1250 \text{ и } h = \sqrt{\frac{1250}{3}} = 20{,}5 \text{ сантиметр.}$$

Но такъ какъ балансиръ ослабляется именно въ опасномъ сѣченіи отверстіемъ для подвѣснаго хомутика то рекомендуется усиливать его, придавая ему большую высоту или дѣлая валикъ около отверстія. Если балансиръ отливается въ сыромъ пескѣ, то нужно его размѣры увеличить на 10%. Шипы, на коихъ виситъ балансиръ, должны имѣть 5 до 6 кв. сантим. сѣченія на 1000 килогр. груза; подвѣсное

кольцо около 1 кв. сантим. сѣченія на 1000 кило въ каждомъ колѣнѣ. Слѣд. при грузѣ въ 2000 кило шипъ имѣлъ бы сѣченіе 12 кв. сант. и діаметръ 4 сантим. Круглое желѣзо для подвѣснаго кольца имѣло бы 1,6 сант. въ діаметрѣ.

Спеціальный разсчетъ бруса на сгибаніе. Приведемъ въ заключеніе способъ опредѣленія сгибающаго момента и момента напряженія для бруса A, B (фиг. 244), лежащаго на двухъ опорахъ и на который дѣйствуютъ какъ отдѣльныя силы P_1, P_2, P_3 . . . ., такъ и равномѣрно распредѣленная по всей длинѣ его l нагрузка (такой нагрузкой служитъ обыкновенно собственный вѣсъ бруса). Обозначимъ



фиг. 244.

разстоянія силъ P_1, P_2, P_3 . . . . отъ A черезъ a_1, a_2, a_3 . . . . и отъ B черезъ b_1, b_2, b_3 . . . . и примемъ, что равномѣрно распредѣленная нагрузка есть q на единицѣ длины бруса, получимъ для опорныхъ давленій въ A и B выраженія

$$D_1 = \frac{ql}{2} + P_1\frac{b_1}{l} + P_2\frac{b_2}{l} + P_3\frac{b_3}{l} + \ldots .$$

$$D_2 = \frac{ql}{2} + P_1\frac{a_1}{l} + P_2\frac{a_2}{l} + P_3\frac{a_3}{l} + \ldots .$$

Сгибающіе моменты имѣютъ наибольшія величины въ точкахъ приложенія силъ—C_1, C_2, C_3 . . . . ; обозначивъ эти моменты соотвѣтственно черезъ M_1, M_2, M_3 . . . . , получимъ:

$$M_1 = D_1a_1 - \frac{qa_1^2}{2}; \quad M_2 = D_1a_1 - P_1(a_2 - a_1) - \frac{qa_2^2}{2};$$

$$M_3 = D_1a_3 - P_1(a_3 - a_1) - P_2(a_3 - a_2) - \frac{qa_3^2}{2} \text{ и т. д.}$$

Обозначивъ черезъ J_1, J_2, J_3 . . . . моменты инерціи поперечныхъ сѣченій внутри частей AC_1, C_1C_2, C_2C_3 . . . . , мы будемъ имѣть для опредѣленія этихъ сѣченій выраженія: $M_1 = \frac{S}{e_1}J_1$; $M_2 = \frac{S}{e_2}J_2$; $M_3 = \frac{S}{e_3}J_3$ . . . . , гдѣ M_1, M_2, M_3 . . . . имѣютъ предъидущія значенія, а e_1, e_2, e_3 . . . . означаютъ разстоянія наиболѣе удаленныхъ волоконъ даннаго поперечнаго сѣченія отъ его (сѣченія) нейтральной оси.

Если брусъ долженъ по всей своей длинѣ имѣть постоянное поперечное сѣченіе, то величина его (сѣченія) опредѣляется понятно изъ максимума $M=\frac{S}{e}J$, при чемъ этотъ максимумъ имѣетъ мѣсто въ одной изъ точекъ приложенія силъ C_1, C_2, C_3 . . .

Примѣръ. Пусть (по фиг. 244) длина бруса $l=12$ метрамъ, $P_1=P_2=P_3=200$ кд., $a_1=\frac{l}{3}$, $a_2=\frac{l}{2}$, $a_3=\frac{2l}{3}$ и равномѣрно распредѣленная по длинѣ призматическаго деревяннаго бруса нагрузка на каждый метръ длины пусть $q=150$ кд. Каковы должны быть размѣры прямоугольнаго поперечнаго сѣченія этого бруса, если ширина b сѣченія относится къ высотѣ h его какъ 1 къ $\sqrt{2}$ и если, при 10-ти кратной прочности, S, т. е. наибольшее напряженіе дерева=60 кг. на □ ст.?

Вслѣдствіе симметричнаго расположенія силъ по брусу опорныя давленія равны между собой, слѣдовательно:

$$D_1=D_2=\frac{ql}{2}+\frac{2}{3}P_1+\frac{1}{2}P_2+\frac{1}{2}P_3=1200 \text{ клгр.}$$

Наибольшій сгибающій моментъ имѣетъ мѣсто въ серединѣ бруса, именно:

$$M=D_1\cdot\frac{l}{2}-P_1\frac{l}{6}-\frac{ql^2}{8}.$$

Пусть нужно опредѣлить размѣры поперечнаго сѣченія въ сантиметрахъ, для этого при опредѣленіи M нужно выразить размѣры длины тоже въ сантиметрахъ; точно также нужно величину q, относящуюся до 1 метра провести къ сантиметру, т. е. вмѣсто q—брать $\frac{q}{100}$. Сообразно съ этимъ будемъ имѣть:

$$M=1200\times\frac{1200}{2}-200\times\frac{1200}{6}-\frac{150}{100}\times\frac{1200^2}{8}=410000.$$

И такъ въ формулѣ $M=\frac{S}{e}J$, $M=41000$, $S=60$, $J=\frac{1}{12}b.h^3$, и $e=\frac{h}{2}$ слѣдовательно

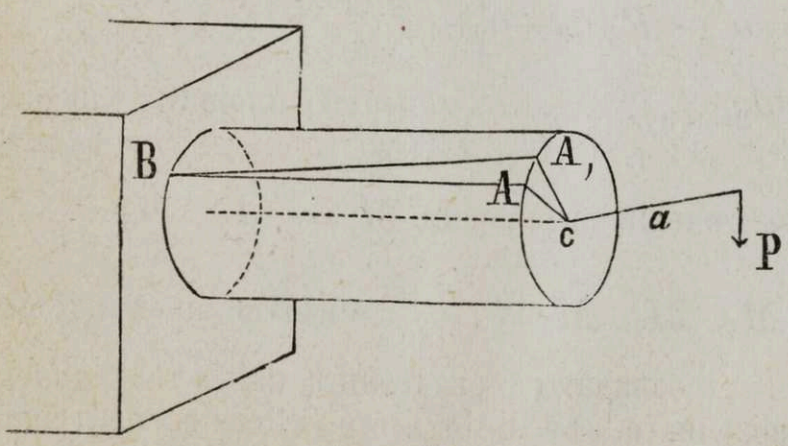
$$410000=\frac{60}{\frac{1}{2}h}\cdot\frac{bh^3}{12}=10bh^2,$$ откуда $bh^2=41000$.

Но такъ какъ $b:h=1:\sqrt{2}$, слѣдовательно $b=\frac{h}{\sqrt{2}}$, то $\frac{h^3}{\sqrt{2}}=41000$ или

$h^3=41000\sqrt{2}=57982{,}2$, откуда наконецъ $h=\sqrt[3]{57982{,}2}=39$ ст. и $b=\frac{h}{\sqrt{2}}=28$ ст.

79) Упругость и крѣпость крученія. Твердое тѣло сопротивляется крученію тогда, когда внѣшнія силы стремятся поворачивать его около его геометрической оси.

Простѣйшій случай есть тотъ, когда тѣло (фиг. 245) укрѣплено однимъ концомъ B, а на другой конецъ его A дѣйствуетъ сила P, лежащая въ плоскости поперечнаго сѣченія A, и стремящаяся повернуть тѣло около его продольной оси. Если разстояніе точки приложенія силы P отъ центра сѣченія есть a, то произведеніе $P.a$ образуетъ такъ называемый крутящій моментъ, который стремится закручивать волокна,



фиг. 245.

расположенныя параллельно оси. Такъ какъ брусъ укрѣпленъ въ одномъ концѣ, то закручиваніе волоконъ увеличивается отъ B къ A и волокна послѣ закручиванія примутъ положеніе винтовыхъ линій. Эти закручиванія волоконъ или поворачиванія отдѣльныхъ поперечныхъ сѣченій бруса около его продольной оси будутъ тѣмъ больше, чѣмъ болѣе удалены сѣченія отъ защемленнаго конца, такъ что сѣченіе A испытываетъ наибольшее закручиваніе.

Въ то же время перемѣщенія отдѣльныхъ элементовъ поперечнаго сѣченія будутъ тѣмъ больше, чѣмъ далѣе они отстоятъ отъ пентра сѣченія, такъ что вслѣдствіе этого закручиваніе волоконъ возрастаетъ съ удаленіемъ отъ оси, а сама ось остается нейтральной.

Такъ какъ, слѣдовательно, матеріалъ, лежащій вблизи оси, испытываетъ наименьшее напряженіе, то отсюда слѣдуетъ, что полый цилиндръ съ той же величиной поперечнаго сѣченія, сопротивляется крученію лучше, чѣмъ сплошной.

Закручиванію волоконъ или перемѣщенію ихъ поперечныхъ сѣченій противодѣйствуютъ отдѣльные элементы этихъ сѣченій, сопротивляясь срѣзыванію и скольженію; такимъ образомъ крѣпость крученія зависитъ отъ крѣпости срѣзыванія, подобнымъ же образомъ, какъ крѣпость сгибанія отъ крѣпости растяженія и сжатія.

Сообразно съ этимъ модуль упругости для крученія равенъ модулю G для срѣзыванія и составляетъ $\frac{2}{5}E$, гдѣ E есть модуль упругости для растяженія (см. таблицу на стр. 202 и 203).

Изъ условія равновѣсія между моментомъ крученія $P.a$ и моментомъ сопротивленія отдѣльныхъ элементовъ поперечнаго сѣченія относительно оси выводится формула: $P.a = \frac{S_2}{r} J_0$ . . . . . (16)

Здѣсь S_2 означаетъ допускаемое напряженіе при крученіи крайнихъ поперечныхъ сѣченій волоконъ на единицу площади, r — наибольшее разстояніе волоконъ отъ оси и J_0—полярный моментъ инерціи поперечнаго сѣченія т. е. сумму произведеній изъ элементовъ сѣченій f на квадраты ихъ разстояній e отъ центра сѣченія, слѣдовательно $J_0 = \Sigma(f.e^2)$ [1]).

Для квадратнаго поперечнаго сѣченія со стороной b полярный модуль сѣченія $\frac{J_0}{r} = \frac{b^3}{3\sqrt{2}}$, слѣдовательно $P.a = \frac{S_2 b^3}{3\sqrt{2}}$ или

$P.a = 0{,}236 S_2 b^3$ . . . . . (17)

Для круглаго поперечнаго сѣченія $\frac{J_0}{r} = \frac{\pi r^8}{2} = 1{,}57 r^3$,

слѣдовательно $P.a = 1{,}571 S_2 r^3$ или при $r = \frac{d}{2}$, $P.a = 0{,}1963 S_2 d^3$ (18)

---

[1]) Полярнымъ моментомъ инерціи плоской фигуры называется ея моментъ инерціи относительно оси вращенія, нормальной къ плоскости фигуры. Онъ равенъ суммѣ моментовъ инерціи этой фигуры относительно какихъ нибудь двухъ осей, которыя лежатъ въ плоскости фигуры и пересѣкаются взаимно перпендикулярно на полярной оси.

Для кольцеваго поперечнаго сѣченія, когда r есть внѣшній радіусъ, и r_1 внутренній $\frac{J_0}{r}=\frac{\pi(r^4-r_1^4)}{2r}=\frac{1{,}571(r^4-r_1^4)}{r}$,

слѣдовательно $Pa=\frac{1{,}571 S_2(r^4-r_1^4)}{r}$ или при $r=\frac{d}{2}$ и $r_1=\frac{d_1}{2}$,

$$Pa=\frac{0{,}1963 S_2(d^4-d_1^4)}{d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19)$$

Нужно еще замѣтить, что S_2 составляетъ около $\frac{4}{5}$ допускаемаго напряженія при растяженіи, слѣдовательно $S_2=0{,}8S$.

Формулы, приведенныя для опредѣленія момента крученія пригодны особенно для разсчета валовъ и осей.

Если S_2 относится къ □ ст., то, понятно, и a должно выразить въ сантиметрахъ.

Правило 1. Умножь допускаемое сопротивленіе матеріала, соотвѣтствующее 1 квадр. сант. поперечнаго сѣченія на число 0,1963 и на кубъ діаметра или на число 0,236 и на кубъ стороны балки, если она квадратная (въ сантиметрахъ) и произведеніе раздѣли на радіусъ колеса или, все равно, на длину рычага, на оконечность котораго дѣйствуетъ сила. Частное покажетъ сопротивленіе балки въ килогр. Если же сѣченіе кольцевое, то вмѣсто куба діаметра надо взять разность четвертыхъ степеней наружнаго и внутренняго діаметровъ, раздѣленную на наружный діаметръ.

Правило 2. Умножь грузъ, назначенный для поддержанія, на длину рычага въ сантиметрахъ и произведеніе раздѣли на допускаемое сопротивленіе матеріала, соотвѣтствующее одному квадр. сантиметру сѣченія и на число 0,1963 или на 0,236. Корень кубичный изъ частнаго будетъ искомый діаметръ балки, если она круглая или искомая сторона, если она квадратная.

Для валовъ крутящій моментъ выражается обыкновенно черезъ величину работы въ лошадиныхъ силахъ и число оборотовъ вала въ минуту. Если, слѣдовательно, N означаетъ число лошадиныхъ силъ и n число оборотовъ въ минуту, то выразивъ N въ 75 кгмр. и a въ сантим.,

получаемъ $P.\frac{2\frac{a}{100}\pi n}{60}=75\ N$, откуда $Pa=\frac{6000\times 75\ N}{2\pi n}=71620\ \frac{N}{n}$ килограммметровъ . . . . . (20)

Вставивъ эту величину момента силы, выраженную въ килограммметрахъ, въ предъидущія выраженія, получимъ для квадратнаго поперечнаго сѣченія:

$$71620\ \frac{N}{n}=0{,}236 S_2 b^3 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (17\text{ а})$$

для круглаго: $$71620\ \frac{N}{n}=0{,}1963 S_2 d^3. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (18\text{ а})$$

и для кольцеваго: $$71620\ \frac{N}{n}=\frac{0{,}1963 S_2(d^4-d_1^4)}{d} \quad \ldots\ldots \quad (19\text{ а})$$

Для большаго уясненія выведенныхъ формулъ приведемъ слѣдующіе примѣры.

1. Какъ великъ будетъ діаметръ d желѣзнаго вала, передающаго съ 8-ми кратной прочностію силу въ 2000 кг. помощью зубчатаго колеса діаметромъ равнымъ 1 м.? По уравненію (18) крутящій моментъ $Pa = 0{,}1963\,S_2 d^3$. Отсюда получаемъ

$$d = \sqrt[3]{\frac{P.a}{0{,}1963\,S_2}}$$

$P = 2000$ кг., $a = 100$ ст., $S_2 = 0{,}8S.$, и такъ какъ при 8-ми кратной надежности для желѣза $S = 500$ кг. на $\square$ ст., то $S_2 = 400$ кг. Для этихъ величинъ, будемъ имѣть

$$d = \sqrt[3]{\frac{2000 \times 100}{0{,}1963 \times 400}} = \sqrt[3]{2547{,}11} = 13{,}65 \text{ ст.}$$

2. Какова будетъ толщина стѣнокъ полаго чугуннаго вала, если онъ передаетъ при 20 ст. діаметрѣ работу въ 24 лошадиныхъ силы и дѣлаетъ въ минуту 36 оборотовъ; имѣемъ въ виду 8-ми кратную прочность?

Изъ уравненія (19 а) $d_1 = \sqrt[4]{d_4 - \frac{71620Na}{0{,}1963\,S_2 n}}$, гдѣ $d = 20$ ст., $N = 24$, $n = 36$ и $S_2 = 0{,}8S.$; такъ какъ при 8-ми кратной надежности $S = 163$ клгр. на $\square$ ст., то $S_2 = 130$ кд.; при этихъ величинахъ:

$$d_1 = \sqrt[4]{160000 - \frac{71630 \times 24 \times 20}{0{,}196 \times 130 \times 36}} = 18{,}71 \text{ ст.}$$

а искомая толщина стѣнки $\frac{d - d_1}{2} = 0{,}65$ ст.

Длинные валы малаго діаметра скручиваются очень сильно. Если сопротивленіе, проявляющееся въ нѣкоторомъ удаленіи отъ дѣйствующей силы, будетъ отчасти или вполнѣ уничтожено, то винтовыя линіи быстро превращаются въ прямыя линіи, что причиняетъ внезапныя измѣненія въ скорости вала, колесъ и ремней и чрезъ это портится фабрикатъ, напр. при пряденіи и ткачествѣ. Въ такихъ случаяхъ уголъ крученія не долженъ превосходить извѣстный предѣлъ; обыкновенно при разсчетѣ по углу крученія слѣдуетъ принимать его не болѣе $^1/_4{}^0$ на метръ длины.

Уголъ крученія, т. е. дуга поворота на разстояніи 1 отъ оси вращенія

для квадрата	$\psi = 7{,}2\frac{1}{b^4}\frac{Pa}{G}l$	$\psi = 1{,}6\frac{S_2}{G}\frac{l}{b}$
для круга	$\psi = \frac{Pal}{GJ_0} = \frac{32Pa}{\pi d^4 G}l$	$\psi = 2\frac{S_2}{G}\frac{l}{d}$
для круговаго кольца	$\psi = \frac{Pal}{GJ_0} = \frac{32}{\pi(d^4 - d_1^4)}\frac{Pa}{G}l$	$\psi = 2\frac{S_2}{G}\frac{l}{d}$

Формулы первой колонны даютъ величину крученія соотвѣтствующую крутящему моменту Pa, а во второй колоннѣ соотвѣтствующую скалы-

вающему напряженію S_2 Чтобы получить уголъ крученія въ градусахъ, надобно вышеприведенныя величины помножить на $\frac{180}{\pi}$.

Примѣръ 1. На сколько градусовъ скручивается круглый желѣзный валъ въ 10 ст. діаметромъ и 5 м. длиною, если онъ передаетъ силу 1200 килогр., дѣйствующую на окружности зубчатаго колеса радіусомъ 70 ст.? По второй формулѣ первой колонны:

$$\alpha^0 = \frac{32.180 Pa.L}{\pi^2 G d^4} = \frac{5760.1200.70.500}{3,14.3,14.800000.10000} = 3,06^0.$$

т. е. конецъ вала скручивается на $3,06^0$, прежде чѣмъ другой начинаетъ вращаться.

Примѣръ 2. Какъ велико напряженіе этого вала на его поверхности? Здѣсь спрашивается о величинѣ S_2 Она дается формулою.

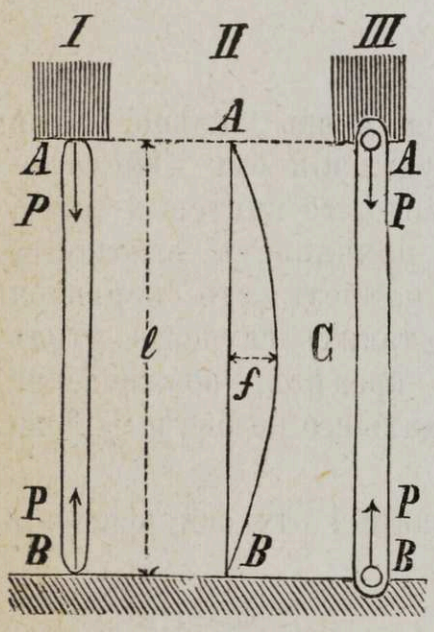
$$Pa = 0,1963 S_2 d^3; \text{ откуда } S_2 = \frac{Pa}{0,1963 d^3} = \frac{1200.70}{0,1963.1000} = 428 \text{ килогр.}$$

т. е. слой на поверхности вала, имѣющій сѣченіе 1 □ ст., скалывается силою 428 килогр. Поэтому матеріалъ на поверхности вала имѣетъ коеффиціентъ прочности около $^1/_9$.

Примѣръ 3. Желѣзный валъ съ наибольшимъ напряженіемъ 400 килогр. при углѣ крученія 10^0 на длину 1500 ст., долженъ имѣть діаметръ,

$$d = 2\frac{S_2.l}{G\psi}\frac{180}{\pi} = \frac{2.400.1500.180}{800000.10.3,14} = 8,6 \text{ ст.}$$

80. Сложныя упругость и крѣпость. а) Упругость отламыванія [1]). I. Эмпирическія формулы. Простѣйшій случай сопротивленія отламыванію призматической или цилиндрической стойки имѣетъ мѣто при осевой нагрузкѣ, когда оба конца стойки свободны (округлены и незадѣланы) или когда они укрѣплены шарнирно и когда длина его l превосходитъ наименьшій размѣръ поперечнаго сѣченія покрайней мѣрѣ въ 3 раза (фиг. 246). Кривая ACB есть упругая линія т. е. искривленная отъ нагрузки, P продольная ось стойки; прогибъ этой линіи происходитъ въ направленіи наименьшей толщины такимъ образомъ, что плоскость прогиба проходитъ черезъ направленіе силы. Стойка отъ осевой нагрузки испытываетъ сжатіе, которое вслѣдствіе сгибанія увеличивается на вогнутой сторонѣ и вслѣдствіе растяженія уменьшается на выпуклой. Означимъ черезъ l длину стойки, черезъ F ея поперечное сѣченіе, J наименьшій моментъ инерціи поперечнаго сѣченія относительно оси, проходящей черезъ центръ тяжести, и черезъ α коэффиціентъ, зависящій отъ свойствъ матеріала стойки; тогда наибольшее напряженіе сжатія на единицу площади, вызванное (напряженіе) осевой нагрузкой P получится изъ формулы Ранкина:



фиг. 246.

$$S_1 = \frac{P}{F}\left(1 + \alpha\frac{l^2 F}{J}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

[1]) Названіе это соотвѣтствуетъ крѣпости раздробленія длинныхъ стоекъ. (Knick oder Stauchungs—Festigkeit).

и наибольшее напряженіе растяженія на выпуклой сторонѣ получится изъ:

$$S=\frac{P}{F}\left(-1+\alpha\frac{l^2F}{J}\right). \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (21).$$

Напряженіе при растяженіи на выпуклой сторонѣ имѣетъ мѣсто только тогда, когда $S>0$, слѣдовательно, когда $\frac{\alpha l^2F}{J}>1$. Такъ какъ, впрочемъ, S_1 всегда больше S, то опредѣленіе S необходимо только для чугуна и это имѣетъ вліяніе на сопротивленіе только когда $S>\frac{5}{14}S_1$.

Изъ формулы Ранкина допускаемая нагрузка

$$P=\frac{FS_1}{n}, \text{ гдѣ } n=1+\alpha\frac{l^2F}{J} \text{ есть коэффиціентъ прочности.}$$

При данномъ отношеніи $(l:h)$ длины l стержня къ наименьшему размѣру h его поперечнаго сѣченія, n показываетъ какую часть допускаемаго напряженія сжатія нужно вводить въ вычисленіе для опредѣленія F.

Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены значенія $1+\frac{\alpha l^2F}{J}$ для различныхъ формъ поперечныхъ сѣченій, слѣдовательно S_1 выражено кратными числами отъ $\frac{P}{F}$. Въ таблицѣ $\frac{l}{h}$ означаетъ отношеніе длины стойки l къ наименьшему поперечному размѣру h.

Здѣсь принимаютъ при 5-ти кратной прочности на □ ст. для чугуна $S_1=1500$ и для желѣза $S_1=750$ клгр. и для дерева при 10 кратной прочности $S_1=70$.

Примѣръ. Требуется опредѣлить діаметръ чугунной колонны длиною 3,045 метра, которая могла бы поддерживать грузъ въ 19670 килогр.

Возьмемъ произвольно отношеніе длины къ толщинѣ какъ 1 къ 20, для котораго по таблицѣ $n=6{,}12$; а грузъ на квадр. сантиметръ можно допустить только 1500:6,12=245 килогр., слѣд. для всего груза потребно 19670:245=80,3 кв. сант. чему соотвѣтствуетъ діаметръ 10,1 сантиметра. При такомъ діаметрѣ отношеніе длины къ толщинѣ будетъ, какъ 10,1 къ 304,5; то есть какъ 1 къ 30; потому первое вычисленіе не годится. Беремъ изъ таблицы отношеніе 1 къ 26 и дѣлаемъ тоже самое; или прямо по формулѣ

$$F=\frac{P}{S}.n-\frac{19670}{1500}.\ 9{,}65=126{,}4 \text{ квадр. сантиметр.}$$

чему соотвѣтствуетъ діаметръ 12,7 сантим. При этомъ діаметрѣ отношеніе длины къ толщинѣ будетъ какъ 12,7 къ 304,5 или какъ 1 къ 24; слѣдовательно такая колонна хороша.

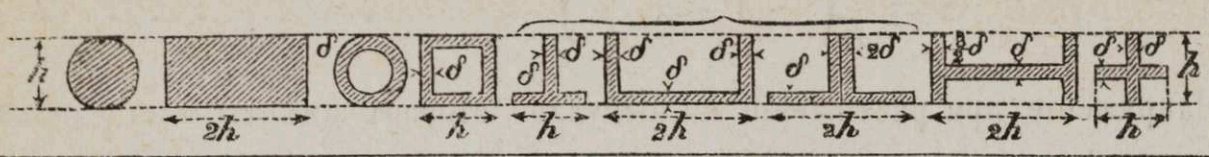
Примѣръ. Какова допускаемая осевая нагрузка P при 5-ти кратной прочности на желѣзную подпорку, вращающуюся на обоихъ концахъ, прямоугольное поперечное сѣченіе которой имѣетъ 4 ст. и высоту 1 ст., если длина l подпорки равна 40 ст.?

Здѣсь $\frac{l}{d}=40$; для этого значенія находимъ въ таблицѣ $S_1=\frac{P}{F}$. 2,92, откуда при

$$S_1=750 \text{ клгр. и } F=4 \text{ ст. } P=\frac{750\times4}{2{,}92}=1030 \text{ клгр.}$$

Таблица коэффиціентовъ прочности n.

Ф. 247. Ф. 248. Ф. 249. Ф. 250. Ф. 251. Ф. 252. Ф. 253.



$\frac{l}{h}$	Желѣзо. Фигуры						Чугунъ (и дерево въ 1 и 2). Фигуры					
	247	248	249	250	251	252	247	248	249	250	251	253
5	1,04	1,03	1,02	1,02	1,06	1,05	1,32	1,24	1,19	1,15	1,24	1,44
10	1,16	1,12	1,09	1,06	1,25	1,18	2,28	1,96	1,78	1,58	1,96	2,77
12	1,23	1,17	1,12	1,09	1,36	1,26	2,84	2,38	2,12	1,84	2,37	3,55
14	1,31	1,24	1,17	1,13	1,49	1,36	3,51	2,88	2,53	2,15	3,86	4,48
16	1,41	1,31	1,22	1,16	1,65	1,46	4,28	3,46	2,99	2,50	3,43	5,54
18	1,52	1,39	1,28	1,21	1,82	1,59	5,15	4,11	3,53	2,90	4,07	6,75
20	1,64	1,48	1,34	1,26	2,01	1,73	6,12	4,84	4,12	3,34	4,79	8,10
22	1,77	1,58	1,41	1,31	2,22	1,89	7,19	5,65	4,78	3,83	5,59	9,59
24	1,92	1,69	1,49	1,37	2,46	2,06	8,34	6,53	5,49	4,37	6,43	11,2
26	2,08	1,81	1,58	1,43	2,71	2,24	9,65	7,49	6,27	4,96	7,41	13,0
28	2,25	1,94	1,67	1,50	2,98	2,43	11,0	8,52	7,12	5,59	8,44	14,9
30	2,44	2,08	1,77	1,58	3,28	2,65	12,5	9,64	8,02	6,26	9,54	17,0
32	2,64	2,23	1,88	1,66	3,59	2,88	14,1	10,8	9,00	7,00	10,7	19,2
34	2,85	2,39	1,99	1,74	3,92	3,12	15,8	12,1	10,0	7,77	12,0	21,5
36	3,07	2,56	2,11	1,83	4,28	3,38	17,6	13,4	11,1	8,58	13,3	24,0
38	3,31	2,73	2,23	1,93	4,65	3,65	19,5	14,9	12,3	9,45	14,7	26,6
40	3,56	2,92	2,37	2,03	5,05	3,93	21,5	15,4	13,5	10,4	16,2	29,4
42	3,82	3,12	2,51	2,13	5,46	4,24	23,6	17,9	14,8	11,3	17,7	32,3
44	4,10	3,32	2,65	2,24	5,90	4,55	25,8	19,6	16,1	12,3	19,4	35,4
46	4,38	3,53	2,81	2,36	6,35	4,88	28,1	21,3	17,5	13,4	21,1	38,6
48	4,69	3,76	2,97	2,48	6,83	5,23	30,5	23,1	19,0	14,5	22,9	41,9
50	5,00	4,00	3,14	2,60	7,32	5,59	33,0	25,0	20,5	15,6	24,7	45,4
55	5,84	4,63	3,59	2,94	8,65	6,55	39,7	30,0	24,6	18,7	29,7	54,7
60	6,76	5,32	4,08	3,31	10,1	7,70	47,1	35,6	29,1	22,1	35,2	64,9
65	7,76	6,07	4,61	3,71	11,7	8,75	55,1	41,6	34,0	25,7	41,1	76,0
70	8,84	6,88	5,19	4,14	13,4	9,99	60,4	48,0	39,3	29,7	47,5	88,0
75	10,0	7,75	5,81	4,61	15,2	11,3	73,0	55,0	44,9	33,9	54,4	101
80	11,2	8,68	6,47	5,10	17,2	12,7	82,9	62,4	50,9	38,5	61,7	115
90	14,0	10,7	7,93	6,19	21,5	15,8	105	78,8	64,2	48,4	77,9	145
100	17,0	13,0	9,55	7,41	26,3	19,3	129	97,0	79,0	59,5	95,9	178

При вычисленіи таблицы было принято:

для желѣза: $\alpha = 0{,}0001$, $h = 30\,\delta$

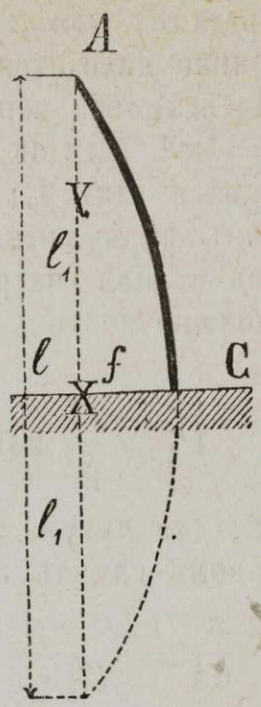
чугуна: $d = 0{,}0008$, $h = 10\,\delta$

дерева: $\alpha = 0{,}0008$

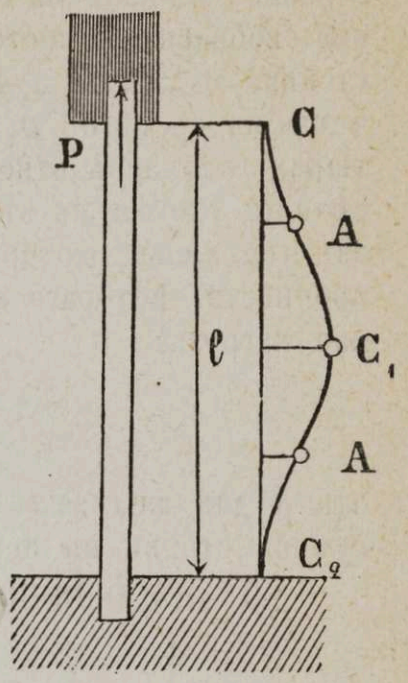
2-й случай. Призматическій брусъ AC защемленъ въ одномъ концѣ, а на другой конецъ его дѣйствуетъ осевая сила (фиг. 254).

Этотъ случай приводится, очевидно, къ предъидущему, если въ прежнихъ формулахъ вмѣсто длины l поставить $2l_1$, тогда мы получимъ:

$$\left.\begin{aligned} S_1 &= \frac{P}{F}\left(1+\frac{4\alpha l_1^2 F}{J}\right) \\ S &= \frac{P}{F}\left(-1+\frac{4\alpha l_1^2 F}{J}\right) \end{aligned}\right\} \quad (22)$$



фиг. 254.



фиг. 255.

3-й случай. Призматическій брусъ укрѣпленъ въ обоихъ концахъ. Въ такомъ случаѣ брусъ сгибается по кривой $CAC_1A_1C_2$, имѣющей двѣ точки перегиба A и A_1; такимъ образомъ предъидущій случай повторяется здѣсь 4 раза. Вставивъ, слѣдовательно, въ предъидущія формулы вмѣсто l_1 только $\frac{l}{4}$, получимъ:

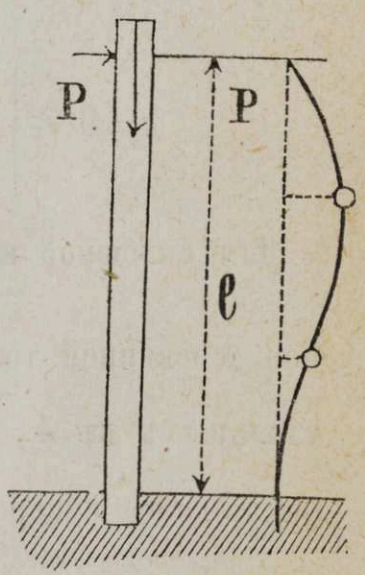
$$\left.\begin{aligned} S_1 &= \frac{P}{F}\left(1+\frac{\alpha l^2 F}{4J}\right) \\ S &= \frac{P}{F}\left(-1+\frac{\alpha l^2 F}{4J}\right) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

Этотъ случай всего чаще встрѣчается при разсчетѣ колоннъ (фиг. 255).

4-й случай. Брусъ укрѣпленъ въ одномъ концѣ и на другомъ концѣ защищенъ отъ боковаго изгиба; на него дѣйствуетъ сила P по оси. (фиг. 256).

Этотъ случай получается изъ втораго, если вмѣсто l, ввести $\frac{l}{3}$; будемъ имѣть:

$$\left.\begin{aligned} S_1 &= \frac{P}{F}\left(1+\frac{4al^2 F}{9J}\right) \\ S &= \frac{P}{F}\left(-1+\frac{4al^2 F}{9J}\right) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (24)$$



фиг. 256.

II. Теоретическія формулы. Если l высота стойки или колонны, J наименьшій моментъ инерціи сѣченія относительно оси, проходящей чрезъ центръ тяжести, E модуль упругости, то разрушающая нагрузка (крѣпость отламыванія), т. е. дѣйствительно переламывающая стойку посредствомъ сгибанія, будетъ $P = m\frac{EJ}{l^2}$, причемъ:

1) Когда нижній конецъ стойки укрѣпленъ неподвижно, верхній свободенъ и отклоняется въ сторону (опасное сѣченіе въ мѣстѣ укрѣпленія),

$m=\frac{\pi^2}{4}$; 2) оба конца свободны, но не могутъ уклоняться въ сторону (опасное сѣченіе на срединѣ) $m=\pi^2$; 3) нижній конецъ укрѣпленъ, верхній свободенъ и постоянно находится на первоначальномъ направленіи отъ стойки) $m=2\pi^2$ и 4) если оба конца укрѣплены; изгибъ и опасное сѣченіе на срединѣ $m=4\pi^2$. Слѣдов. теоретически крѣпость для этихъ четырехъ случаевъ относится какъ 1 : 4 : 8 : 16. При опредѣленіи размѣровъ сѣченія стойки по этимъ формуламъ вмѣсто P подставляютъ произведеніе изъ той силы, которой стойка нагружена фактически, на коэффиціентъ прочности, котораго должно достичь при отламываніи; такъ что допускаемая нагрузка

$$P_1=\frac{P}{\beta} \text{ или } P=\beta P_1$$

одѣ β для желѣза $=6$, для чугуна $=8$ и для дерева $=10$. Для полой чугунной стойки въ первомъ случаѣ при $E=900000$ и $\beta=8$

$$P_1=\frac{\pi^2}{4}\,\frac{900000}{8}\,\frac{\pi}{64}\,\frac{(D^4-d^4)}{l^2} \text{ или кругло } 13600\,\frac{D^4-d^4}{l^2}.$$

Для упрощенія разсчета толщины стѣнки e такой стойки при данномъ P_1 дѣлаютъ $l=nD$ и $d=xD$; тогда

$$x^1=1-\frac{n^2P_1}{13600D^2},\ d=xD \text{ и } e=0{,}5D(1-x).$$

Для втораго случая (который встрѣчается большею частію) будетъ

$$x^4=1-\frac{n^2P_1}{54400D^2}.$$

Когда x^4 вычислено, то x получается изъ слѣдующей таблицы:

При $x^4=0{,}24$	0.27	0,30	0,33	0,37	0,41	0,475	0,525
$x=0{,}7$	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85

Для сплошной желѣзной круглой стойки $P_1=40000\frac{D^4}{l^2}$ и для квадратной деревянной толщиною a . . . $P_1=2000\frac{a^4}{l^2}$, оба для случая I; для стальныхъ въ 4, 8 и 16 разъ болѣе. Слѣдуетъ замѣтить, что для прямоугольнаго поперечнаго сѣченія здѣсь $J=\frac{hb^3}{12}$, какъ наименьшая величина J, ибо b меньшій, h большій размѣръ сѣченія; то же самое нужно наблюдать при двутавровыхъ сѣченіяхъ. Въ послѣднихъ (фиг. 197 стр. 219) можно для упрощенія разсчета не обращать вниманія на среднюю стѣнку и принимать $J=\frac{HB^3-hB^3}{12}=\frac{B^3}{12}\ H-h$; H и B обыкновенно зада-

ются и тогда вычисляется толщина поясовъ B изъ $^1/_2\,(H-h)$. Въ этомъ случаѣ при вертикальномъ давленіи толщина поясовъ $r=^1/_2\,(H-h)=\frac{P_1 l^2}{185000\,B^3}$ для чугуна (случай 2). При l метр. высоты стойки толщина b не менѣе $4+4l$ миллиметровъ.

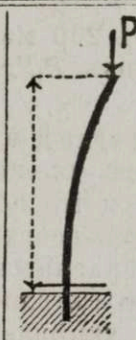
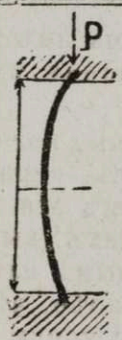
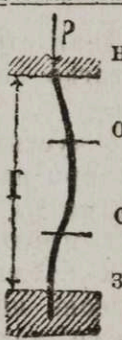
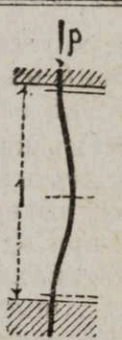
Стойку нужно разсчитывать на отламываніе, если

	при □ и |▭|	при кругл. поперечн. сѣченіи
для дерева	$l =$ или $> 8h$	$6d$
„ чугуна	$6h$	$5d$
„ желѣза	$14h$	$12d$

и именно въ первомъ изъ вышеуказанныхъ 4 случаевъ нагрузки и укрѣпленія, въ то время какъ во второмъ случаѣ l можно сдѣлать въ два раза, въ третьемъ почти въ 2,8 раза и въ четвертомъ въ 4 раза болѣе.

Для большей наглядности приводимъ табличку крѣпости отламыванія.

Таблица крѣпости отламыванія.

Способъ укрѣпленія стойки.	 свободенъ — задѣланъ — опасное сѣченіе. ф. 257.	 свободенъ — опасное сѣченіе — свободенъ. ф 258.	 направл. — опасныя сѣченія — закрѣпленъ. ф. 529.	 закрѣпленъ — опасное сѣченіе — закрѣпленъ. ф. 260.
Ломающая нагрузка.	$P=\frac{\pi^2}{4}\frac{JE}{l^2}$	$P=\pi^2\frac{JE}{l^2}$	$P=2\pi^2\frac{JE}{l^2}$	$P=4\pi^2\frac{JE}{l^2}$

Величина l								
Желѣзо.	$12d$	$14h$	$24d$	$28h$	$33d$	$38h$	$48d$	$56h$
Чугунъ.	$5d$	$5{,}75h$	$10d$	$11{,}5h$	$14d$	$16h$	$20d$	$23h$
Дерево.	$6d$	$8h$	$11{,}5d$	$13{,}5h$	$16d$	$19h$	$23d$	$27h$

Примѣръ 1. Цилиндрическая желѣзная стойка въ 5 м. высотою должна поддерживать грузъ 8590 килограм. Какую толщину должна она имѣть при 4-кратной прочности?

По вышеприведенной формулѣ для втораго случая при $d=0$, $E=2000000$ и $P=4.8590$

$$D^4=\frac{64.4.8590.500^2}{2000000.3{,}14^3}=8870;\quad D^2=\sqrt{8870}=94{,}2;\quad D=9{,}7 \text{ ст.}$$

Примѣръ 2. Желѣзная стойка крана сдѣлана изъ балочнаго желѣза и поддерживаетъ грузъ $P_1=5332$ килогр. стойку можно разсматривать какъ свободную въ обоихъ концахъ полосу. Пусть P ломающая нагрузка, то при 6 кратной прочности

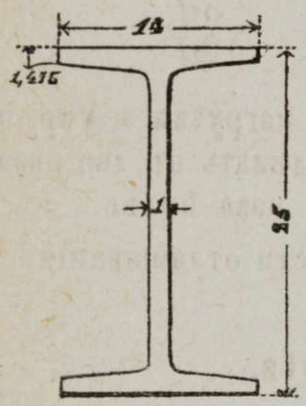
$P = 6P_1 = 31992$ kg. Но $P = \pi^2 EJ : l^2$; если $E = 2000000$, $l = 524$ ст., то $J = \frac{Pl^2}{\pi^2 E} =$

$= \frac{31992 \times 524^2}{3{,}14^2 \times 2000000} = 445{,}4$. Примемъ профиль, выдѣлываемый заводомъ Бурбахъ, фиг. 261 даетъ его размѣры, по нимъ

$$J = {}^1/_{12}[14^3 \times 1{,}475 \times 2 + 1{,}0^3 \times 22{,}05] = 676{,}4.$$

Эта величина болѣе первой, а потому избранный профиль гарантируетъ стойкѣ достаточную прочность.

Примѣръ 3. На деревянную стойку, длиною 3,5 метра, давитъ грузъ $P_1 = 5000$ килогр. Какой діаметръ должно имѣть круглое сѣченіе этой стойки, чтобы она могла сопротивляться отламыванію съ 10 кратною прочностію. Стойка нижнимъ концомъ задѣлана въ кладку, а верхній свободный держитъ грузъ?



фиг. 261.

Здѣсь по формулѣ

$$P = \frac{\pi^2 J.E}{4l^2},$$ при чемъ $P = 10.5000 = 50000$ килогр.

Моментъ инерціи

$$J = \frac{4Pl^2}{\pi^2 E} = \frac{4.50000.3500^2}{3{,}14^2.1100} = 225669500.$$

По $J = \frac{\pi}{64} d^4$ (моментъ инерціи площади круга);

$$d = \sqrt[4]{\frac{64}{\pi}\ 225669500} = 260$$ миллиметровъ.

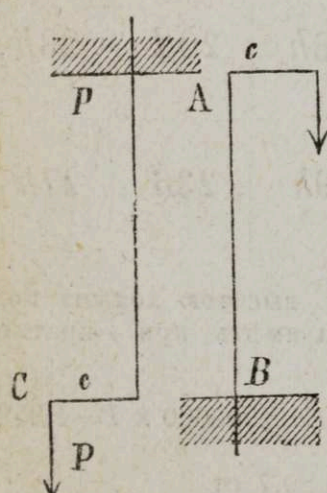
Слѣдов. круглая деревянная стойка должна имѣть діаметръ 260 миллиметровъ въ самомъ тонкомъ мѣстѣ, тогда какъ квадратная имѣла бы (изъ $P_1 l^2 = 2000.a^4$) толщину $a = 23{,}5$ сантиметра.

Годгинсонъ нашелъ, что чугунныя колонны, которыя въ срединѣ въ 1,5 до 2 разъ толще, чѣмъ на концахъ при равномъ вѣсѣ и равной длинѣ съ цилиндрическими колоннами выдерживаютъ на $^1/_8$ болѣе, чѣмъ эти послѣднія и что полныя цилиндр. колонны при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ выдерживаютъ всегда болѣе, чѣмъ колонны одинаковаго вѣса съ многоугольнымъ или звѣздообразнымъ поперечнымъ сѣченіемъ. Опыты Годгинсона показали, далѣе, что колонны съ плоскими концами сопротивляются почти также, какъ если бы концы эти были укрѣплены.

Чѣмъ полыя колонны длиннѣе, тѣмъ труднѣе дать имъ при отливкѣ повсюду одинаковую толщину въ стѣнкахъ. Вслѣдствіе этой трудности, независимо отъ условій крѣпости, не должно уменьшать толщину стѣнокъ далѣе слѣдующихъ предѣловъ:

Высота колонны	2 до 3	3 до 4	4 до 6	6 до 8	8 до 10	метр.
Наименьшая толщина.	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	сант.
Наружный діаметръ	—	10	11 до 13	15 до 25	30 до 35	„

b) Эксцентрическая растягивающая или сжимающая нагрузка. Если прогибъ длинной оси AB призматическаго бруса (фиг. 262) очень малъ въ сравненіи съ эксцентриситетомъ c груза P, то, обозначивъ черезъ F площадь поперечнаго сѣченія, J моментъ инерціи сѣченія относительно оси, проходящей черезъ центръ тяжести нормально къ плоскости чертежа и черезъ e и e, разстоянія наиболѣе растянутыхъ и сжатыхъ волоконъ отъ оси, проходящей черезъ центры тяжести, получимъ для наибольшаго напряженія матеріала при растяженіи на единицу площади:



фиг. 262.

$$S = \frac{P}{F}\left(1 + \frac{c.e.F}{J}\right) \ldots\ldots \quad (25)$$

и для наибольшаго напряженія при сжатіи:

$$S_1 = \frac{P}{F}\left(1 + \frac{c.e_1.F}{J}\right) \ldots\ldots \quad (26)$$

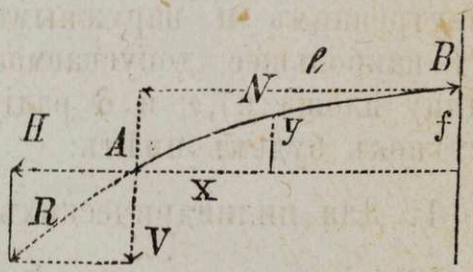
Значенія J для различныхъ формъ поперечнаго сѣченія помѣщены въ таблицѣ на стр. 218 и 219.

При прямоугольномъ сѣченіи (b. h).

$$P = \frac{Sbh}{1 + 6\frac{c}{h}}.$$

Если напримѣръ $c = \frac{h}{2}$, т. е. если точка приложенія привѣшеннаго къ стержню груза леж. на краю его сѣченія, то $P = \frac{Sbh}{4}$, т. е. въ этомъ случаѣ сопротивленіе стержня составляетъ только четвертую часть того сопротивленія, которое онъ оказалъ бы дѣйствію центральной нагрузки. Если сѣченіе стержня круговое (d), то $P = S\frac{\pi}{4}d^2 : 1 + 8\frac{c}{d}$; дѣлая здѣсь $c = \frac{d}{2}$, т. е. предполагая опять эксцентрическую нагрузку, приложенную къ краю сѣченія, получимъ $P = \frac{S}{5}\frac{\pi}{4}d^2$; слѣдовательно, въ этомъ случаѣ сопротивленіе стержня еще менѣе, чѣмъ для прямоугольнаго сѣченія.

c) Осевая и поперечная нагрузка. 1. Случай. Если брусъ AB укрѣпленъ на одномъ концѣ (фиг. 263) и на другой конецъ его дѣйствуетъ сила R_1 наклонная къ прямой оси AB, то можно R разложить на двѣ слагающія H и V и наибольшее напряженіе при растяженіи S на единицу площади найдется приблизительно изъ:



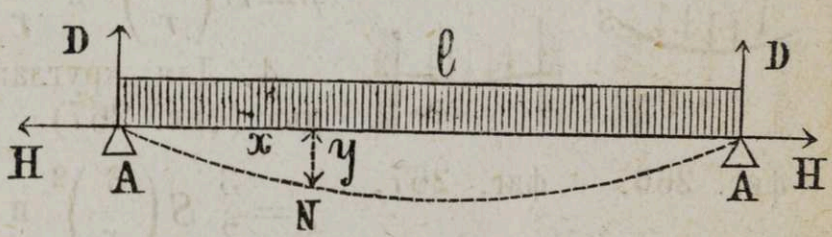
фиг. 263.

$$S = \frac{H}{F} + \frac{V.e.l}{J} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

гдѣ F есть опять поперечное сѣченіе, J моментъ инерціи сѣченія относительно оси, проходящей черезъ центръ тяжести l длина бруса, и e разстояніе крайнихъ растянутыхъ волоконъ отъ той же оси. Здѣсь предполагается, что сгибаніе, производимое силой V очень мало и слѣдовательно чрезвычайно мала стрѣлка прогиба f.

2-й случай. Призматическій брусъ лежитъ на двухъ опорахъ A и B (фиг. 264).

На него дѣйствуютъ равномѣрно распредѣленная нагрузка g на единицѣ длины и сила H по оси.



фиг. 264.

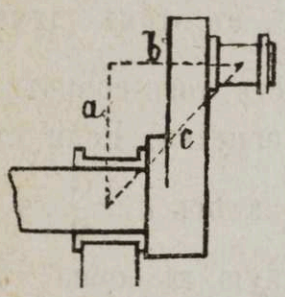
Если прогибъ бруса очень малъ и слѣдовательно H очень велика въ сравненіи съ gl, то наибольшее напряженіе растяженія S на единицу площади найдется изъ формулы:

$$S = \frac{H}{F} + \frac{egl^2}{8J} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Здѣсь e, l, F и J имѣютъ тоже значеніе, что и въ предъидущемъ случаѣ. Этотъ случай встрѣчается часто при разсчетѣ длинныхъ тягъ, вѣсъ которыхъ нужно принимать во вниманіе.

d. Сгибающія и крутящія силы. Валъ подвергается сгибанію и скручиванію. Для части вала между точками приложенія двухъ сосѣднихъ крутящихъ силъ крутящій моментъ постояненъ и $= M$ кр.; наибольшая величина сгибающаго момента для той же самой части вала пусть M сг., то идеальный сгибающій моментъ

$$Mi = \frac{3}{8}M\text{ сг.} + \frac{5}{8}\sqrt{M^2\text{ сг.} + M^2\text{ кр.}} = W\text{ кр.}$$



фиг. 265.

По теоремѣ Понсле приблизительно, если M сг. $> M$ кр. $Mi = 0{,}975\ M$ сг. $+ 0{,}25\ M$ кр. а если M сг. $< M$ кр., то

$$Mi = 0{,}625\ M\text{ сг.} + 0{,}6\ M\text{ кр.}$$

Подставимъ: M сг. $= Pb$, M кр. $= Pa$ и $c = \sqrt{a^2 + b^2}$, то (фиг. 265)

$$Mi = P\frac{3b + 5c}{8} = W\text{ кр.}$$

81. Упругость и Крѣпость стѣнокъ сосудовъ и днищъ. Пусть p дѣйствительное внутреннее давленіе (разность между давленіемъ внутреннимъ и наружнымъ) на единицу поверхности стѣнки сосуда, S наибольшее допускаемое напряженіе въ стѣнкѣ сосуда (на единицу площади), r и δ радіусъ сосуда и толщина стѣнки. Для тонкихъ стѣнокъ будемъ имѣть:

1. Для цилиндрическихъ сосудовъ

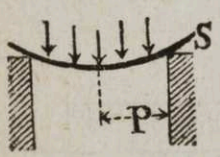
$$p = S\left(\sqrt{1 + \frac{2\delta}{r}} - 1\right) \text{ и } \frac{\delta}{r} = \frac{p}{S}\left(1 + \frac{p}{2S}\right) \quad \ldots \quad (30)$$

2. Для полаго шара

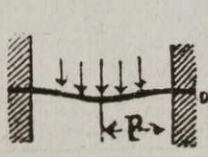
$$p = 2S\frac{\delta}{r} \text{ и } \frac{\delta}{r} = \frac{p}{2S} \quad \ldots \quad (31)$$

3. Для круглаго, свободно наложеннаго дна (фиг. 266)

$$p = S\left(\frac{\delta}{r}\right)^2 \text{ и } \frac{\delta}{r} = \sqrt{\frac{p}{S}} \quad \ldots \quad (32)$$



фиг. 266.



фиг. 267.

4. Для круглаго укрѣпленнаго по краю дна (фиг. 267)

$$p = \frac{3}{2}S\left(\frac{\delta}{r}\right)^2 \text{ и } \frac{\delta}{r} = \sqrt{\frac{2}{3}\frac{p}{S}} \quad (33)$$

5. Если плоскія стѣнки соединяются одна съ другою распорными винтами (какъ это бываетъ въ паровозныхъ и локомобильныхъ котлахъ), расположенными на разстояніи a (въ ст.) между собою, то толщина стѣнокъ принимается для желѣзныхъ листовъ $\delta = 0{,}0387a\sqrt{p} + 0{,}26$ ст. и въ 1,25 раза болѣе, если стѣнки мѣдныя. Толщина мѣдныхъ вин-

товъ $\delta = 0{,}069a\sqrt{p} + 0{,}3$ ст. Толщина стѣнки, въ которой укрѣпляются трубки $= 1{,}4\delta$, если она желѣзная и $1{,}875\delta$, если она мѣдная.

Формулы 30 и 31 приблизительно вѣрны даже до разрыва стѣнокъ.

Примѣръ 1. Для желѣзнаго цилиндр. сосуда, имѣющаго въ діаметрѣ 100 сантим., при толщинѣ стѣнокъ 1 сантим., допущено напряженіе матеріала $k = 800$. Въ такомъ случаѣ по 30 этотъ сосудъ можетъ быть подверженъ внутреннему избыточному давленію $p = 800\left(\sqrt{\frac{52}{50}} - 1\right) = 800 \,.\, 0{,}0198 = 15{,}8$ к. на кв. сантим. Выраженное въ атмосферахъ, это давленіе составитъ $15{,}8 : 1{,}033 = 15{,}30$ атмосферъ. Такъ какъ $k = 4000$ то сосудъ разорвется при давленіи въ 5 разъ большемъ, т. е. при 76,50 атмосферахъ.

Примѣръ 2. Сферическій сосудъ при діаметрѣ 100 сант. и толщинѣ стѣнокъ 1 сант. по фор. 31 для напряженія $s = 800$ можно подвергнуть давленію $p = 1600\frac{1}{50} = 32$ к. на кв. сант., т. е. давленію $32 : 1{,}033 = 31$ атмосф. Слѣдов. 1) для тонкой сферы напряженіе матеріала стѣнокъ въ 2 раза менѣе напряженія, которое испытываетъ тонкій цилиндръ того же діаметра и той же толщины, подвергнутый тому же внутреннему давленію, 2) въ цилиндрѣ величина продольнаго напряженія составляетъ лишь половину напряженія въ направленіи окружности. Поэтому во всѣхъ случаяхъ достаточно вычислять толщину стѣнокъ изъ $\delta = pr : s$.

Примѣръ 3. Плоское желѣзное дно, приклепанное къ цилиндр. сосуду, разсмотрѣнному въ первомъ примѣрѣ, должно имѣть по форм. 33, при $s = 800$, значительную толщину $\delta = 50\sqrt{\frac{2}{3}} \,.\, \sqrt{\frac{15{,}8}{800}} = 50 \,.\, 0{,}816 \,.\, 0{,}14 = 5{,}712$ сант.

Примѣчаніе. Въ случаѣ сосудовъ и трубъ, подверженныхъ очень высокимъ давленіямъ, вслѣдствіе чего они должны имѣть толстыя стѣнки, нужно обратить вниманіе на то обстоятельство, что матеріалъ стѣнки неодинаково напряженъ по радіальному направленію (на внутренней сторонѣ стѣнки сопротивленіе наибольшее).

Имѣя это въ виду мы получаемъ по Ляме, для цилиндрическихъ сосудовъ:

$$p = S\frac{(r+\delta)^2 - r^2}{(r+\delta)^2 + r^2} \text{ и } \frac{\delta}{r} = \sqrt{\frac{S+p}{S-p}} - 1 \quad \ldots\ldots (34)$$

для шарообразныхъ сосудовъ:

$$p = 2S\frac{(r+\delta)^3 - r^3}{(r+\delta)^3 - 2r^3} \text{ и } \frac{\delta}{r} = \sqrt[3]{\frac{2(S+p)}{2S-p}} - 1 \quad \ldots (35)$$

Формулы Ляме показываютъ, что за извѣстнымъ предѣломъ увеличеніе толщины стѣнки не увеличиваетъ сопротивленія сосуда. Предѣлъ сопротивленія, соотвѣтствующій напряженію S, достигается при $p = S$; слѣд. теоретическое сопротивленіе исчерпывается при $p =$ предѣлу упругости матеріала; при этомъ внутреннія волокна начинаютъ получать вслѣдствіе внутренняго давленія постоянныя удлиненія и разрываются, если это давленіе, продолжая увеличиваться, достигаетъ величины коэффиціента крѣпости матеріала. Слѣд. теоретическій предѣлъ сопротивленія имѣетъ мѣсто при $p = T$ т. е.

	для чугуна	желѣза	литой стали
при p.	750	1500	2500
въ атмосферахъ. . .	725	1450	2420

Но вслѣдствіе неоднородности въ строеніи матеріала опасность растяженія и даже разрыва волоконъ можетъ наступить при давленіяхъ зна-

чительно меньшихъ этихъ предѣловъ. Достаточная прочность орудій большаго калибра, гдѣ напряженія бываютъ больше 2500 атм., достигается нынѣ чрезъ составленіе ихъ изъ неоднородныхъ кольцевыхъ слоевъ съ различными напряженіями, а именно черезъ надѣваніе колецъ, закалку ихъ каналовъ и пр. Вліяніе колецъ состоитъ въ сжиманіи внутреннихъ кольцевыхъ слоевъ; отъ давленія пороховыхъ газовъ онѣ сначала приходятъ въ нормальное состояніе, а потомъ въ растянутое, и поэтому могутъ подвергаться гораздо сильнѣйшему растяженію.

Въ машиностроеніи часто примѣняется натягиваніе шинъ, кольцевыхъ втулокъ колесъ, вальцовъ и пр. Пусть B кольцо или втулка съ цилиндрической расточкой, которую надо нагнать на цилиндр. ось A въ горячемъ, либо въ холодномъ видѣ; пусть ось имѣетъ передъ надѣваніемъ радіусъ r_1; расточка втулки радіусъ r_2; послѣ надѣванія обѣ части имѣютъ общій радіусъ$=r$. Въ A послѣ надѣванія имѣется равномѣрно распредѣленное сжатіе S_1, въ B во внутреннемъ слоѣ—растягивающее напряженіе S_2. Если коэффиціенты упругости E_1 и E_2, то по формулѣ 2 стр. 199

$$\frac{S_1}{E_1}=\frac{r_1-r}{r_1}\ ;\ \frac{S_2}{E_2}=\frac{r-r_2}{r_2}\ ;\ r_1\frac{S_1}{E_1}+r_2\frac{S_2}{E_2}=r_1-r_2.$$

Желательно знать, какое слѣдуетъ взять отношеніе радіусовъ r_1 и r_2 для полученія хорошихъ результатовъ. Напряженія S_1 и S_2 зависятъ одно отъ другаго, а именно по формулѣ Ляме

$$S_1=S_2\frac{(r+\delta)^2-r^2}{(r+\delta)^2+r^2}=\rho S_2 \quad \text{и} \quad \psi=\frac{r_1-r_2}{r_2}=\frac{S_2}{E_2}+\frac{\rho S_2}{E_1}. \quad . \quad . \quad (35\ bis).$$

Если $\frac{\delta}{r}=$	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0
$\rho=$	0,385	0,438	0,486	0,528	0,600	0,724	0,800	0,882

Величина ψ б. ч. бываетъ такъ мала, что приготовленіе правильнаго отношенія между r_1 и r_2 на токарномъ станкѣ требуетъ большаго старанія.

Примѣръ. Желѣзная ось, чугунная втулка; $E_1=20000$; $E_2=10000$; пусть $\delta=2r$; слѣдовательно $\rho=0{,}8$ и требуется, чтобы напряженіе матеріала S_2 во внутреннемъ слоѣ втулки, происходящее отъ насаживанія, не превышало 5 клгр. на кв. мм. Тогда по 35 $_{bis}$ получимъ:

$$\psi=\frac{5}{10000}+\frac{5.0{,}8}{20000}=\frac{7}{10000}=\frac{1}{1429}=\text{почти}\ \frac{1}{1400}.$$

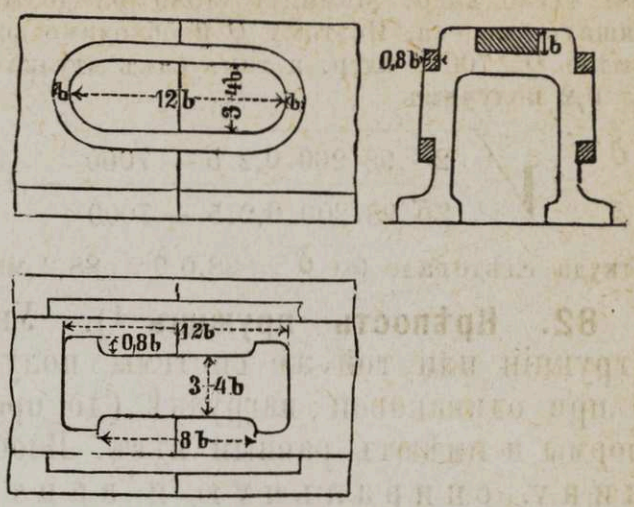
Если бы сдѣлать $\psi=1:600$, то по 35 $_{bis}$ получили бы

$$S_2=\frac{^1/_{600}\cdot 10000}{1+\frac{10000.0{,}8}{20000}}=\frac{100}{6.1{,}4}=\text{почти 11,5 клгр. на кв. мм.}$$

Слѣдовательно втулка разорвалась бы. Малость ψ заставляетъ принимать во вниманіе уже самую тончайшую токарную стружку.

Надѣваніе колецъ, втулокъ и пр. въ горячемъ состояніи. Расширеніе желѣза и стали при красномъ каленіи составляетъ $^1/_{80}$; но удлиненіе отъ растяженія до предѣла упругости для желѣза и чугуна только $^1/_{1300}$, для стали $^1/_{650}$. Поэтому чугунное кольцо, (втул-

ка), надѣваемое на твердый неизмѣняемый металлическій стержень, должно растачивать не на $^1/_{1300}$, но лучше только на $^1/_{1500}$ до $^1/_{1800}$ меньше толщины стержня. Тогда кольцо можно нагнать уже при темнокрасномъ каленіи. При желѣзныхъ и стальныхъ скрѣпляющихъ кольцахъ (шины колесъ) эта осторожность тѣмъ необходимѣе, чѣмъ стержень менѣе упруго-податливъ (во избѣженіе разрыва шины при сильномъ морозѣ).



фиг. 268—270.

Фиг. 268—270 указываетъ скрѣпленіе частей чугунной рамы помощію нагрѣтыхъ колецъ и потайной планки. На табл. 21 скрѣпленіе обода маховиковъ для прокатныхъ становъ фиг. 9 и 10 въ Серенѣ и фиг. 11 и 12 въ Гютеофнугсгютѣ.

Надѣваніе въ холодномъ состояніи посредствомъ пресса. Кольцо и стержень обтачиваются цилиндрически, округляются на мѣстахъ входа и первое надвигается навторой. Разность діаметровъ втулки и стержня слѣдуетъ брать очень небольшую. Потребная при надѣваніи сила Q преодолѣваетъ скользящее треніе. Давленіе p на единицу площади между поверхностями равно (радіальному) напряженію S_1 на окружности стержня; если r радіусъ, l длина въ расточкѣ кольца, f коэффиціентъ тренія, то $Q=2r\pi lS_1f$; если $f=0{,}2$, то отсюда слѣдуетъ

$$p=S_1\,\frac{5Q}{2\pi rl}.$$

Для (касательнаго) напряженія S_2 въ кольцѣ имѣемъ $S_2=S_1:\rho$, если ρ взять по 35 *bis*. Для надѣванія вагонныхъ колесъ нынѣ требуютъ давленіе 40 до 50000 клгр, для паровозныхъ до 100000 клгр. и болѣе. Эти формулы можно употребить (Употребляется еще надѣваніе при нагрѣваніи въ кипящей водѣ (помощью пара), при чемъ разность діаметровъ допускается $^3/_4$ мм. на 1 м.) для приблизительнаго опредѣленія не только получающихся напряженій, но также и толщины стѣнокъ, какую надо дать втулкѣ, вальцу и пр. для предохраненія ея отъ разрыва при надѣваніи. А именно по ($Q=2\pi rlfS_2p$).

$$\frac{\delta}{r}=\sqrt{\frac{2\pi rlfS_2+Q}{2\pi rlfS_2-Q}}-1.$$

При этомъ Q есть наибольшая сила, съ какою втулка сопротивляется какъ долевому перемѣщенію, такъ и вращенію на стержнѣ. Такъ какъ вращающій моментъ PR стремится вращать втулку по стержню, то Qr должно быть $\geqq PR$. Отношеніе $Qr:PR$ будетъ представлять надежность противъ скольженія чрезъ вращеніе. Конструкція вообще только тогда возможна, если $2\pi rlfS_2>Q$. Смотря по тому какъ выбраны S_2 и Q, можно получить весьма различную толщину стѣнокъ.

Примѣръ. Курьерскій паровозъ имѣетъ двѣ соединенныя пары ведущихъ колесъ радіусомъ 970 мм. безъ шпонокъ; діаметръ поршней 432 мм; давленіе пара 10 атм., т. е. $^1/_{10}$ клгр. на кв. мм.; длина колѣна $R=279$ мм. При случайномъ скольженіи трехъ колесъ все дѣйствіе на поршни передается на одно колесо; тогда

$PR=432^2.\ 0{,}785.\ 0{,}1.\ 279=14657.\ 279,$

Размѣры расточки втулки: $r=98$, $l=200$, мм. Это даетъ PR: $r_1=4089303:98=41730$ клгр. Моменту 4089 303 должно сопротивляться треніе одного нескользящаго колеса. Поэтому Q необходимо должно быть $\geq$ 41730 клгр. Мы желаемъ имѣть $Q=70000$ клгр. и такъ какъ втулка желѣзная, то выбираетъ $S_2=5$, клгр; при $f=0{,}2$ получимъ

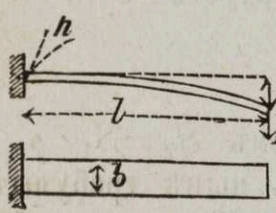
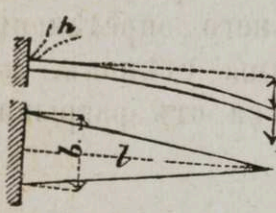
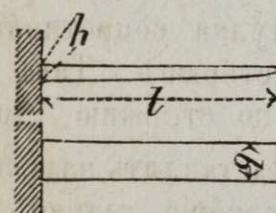
$$\frac{\delta}{z}=\sqrt{\frac{2\pi.98.200.0{,}2\ 5+7000}{2\pi.98.200.0{,}2.5-7000}}-1=\sqrt{\frac{193150}{53150}}-1=\sqrt{3{,}61}-1=0{,}9$$

откуда слѣдовало бы $\delta=98.0{,}9=88{,}2$ мм. Въ натурѣ сдѣлано $\delta=90$ мм.

82. Крѣпость пружинъ [1]). Упругія пружины одинаковой конструкціи или той же системы получаютъ, при одинаковомъ матеріалѣ и при одинаковой нагрузкѣ (до предѣла упругости), то же измѣненіе формы и имѣютъ равный вѣсъ. Вообще различаютъ: плоскую пружину, спиральную и винтовую. Первая разсчитывается на сгибаніе, послѣднія — на сгибаніе и крученіе.

а) Простыя плоскія пружины. P означаетъ возможную нагрузку пружины, b, h и l размѣры, видные по фигурѣ (см. слѣдующую таблицу), S допускаемое напряженіе матеріала на единицѣ поверхности, E модуль упругости, и δ наибольшій допускаемый прогибъ.

Таблица необходимыхъ формулъ для разсчета плоскихъ пружинъ.

№	Названіе и форма пружины.	Сопротивленіе $P=$	Прогибъ $\delta=$	Гибкость $\frac{\delta}{l}$	Объемъ въ сравненіи съ № 1.
I	 Прямоугольная пружина. ф. 271 и 272.	$\frac{S}{6}\frac{bh^2}{l}$	$4\frac{Pl^3}{Ebh^3}$	$\frac{2}{3}\frac{Sl}{Eh}$	1
II	 Треугольная пружина. ф. 273 и 274.	$\frac{S}{6}\frac{bh^2}{l}$	$6\frac{Pl^3}{Ebh^3}$	$\frac{Sl}{Eh}$	$\frac{1}{3}$
III	 Прямоугольная пружина, заостренная по кубической параболѣ [2]). ф. 276.	$\frac{S}{6}\frac{bh^2}{l}$	$6\frac{Pl^3}{Ebh^3}$	$\frac{Sl}{Eh}$	$\frac{1}{2}$

[1]) Ср. Рело Теорія пружинъ. Reuleaux, Theorie d. Federn.

[2]) Упругія линіи обѣихъ послѣднихъ формъ пружины сгибаются по дугѣ окружности, вслѣдствіе чего эти обѣ формы очень пригодны для образованія сложныхъ пружинъ.

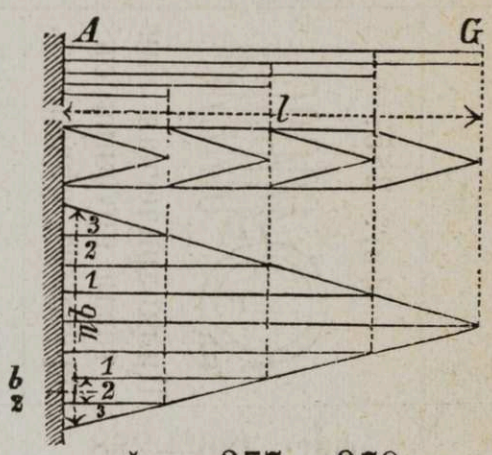
b) Сложныя плоскія пружины. Если сложить вмѣстѣ нѣсколько плоскихъ простыхъ пружинъ, то получается плоская рессора. Главныя требованія отъ хорошей рессоры слѣдующія:

1. Она должна по возможности представлять брусъ равнаго сопротивленія сгибанію.

2. При сгибаніи она не должна размыкаться, т. е. отдѣльные листы не должны отдѣляться другъ отъ друга.

Этимъ требованіямъ удовлетворяетъ вполнѣ только первая изъ слѣдующихъ пружинъ; другія же удовлетворяютъ только второму требованію.

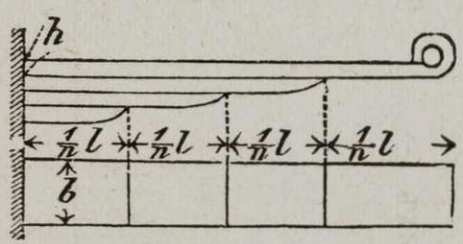
Трапецевидная рессора. Если представить себѣ треугольную пружину (фиг. 279) разрѣзанною на четное число одинаково широкихъ полосъ и части, обозначенныя тѣми же цифрами, соединить между собой такъ, чтобы получилась рессора AG (фиг. 277) то получается такъ называемая трапецевидная рессора, которая обладаетъ такой же способностью сопротивляться сгибающимъ силамъ, какъ и треугольная пружина (фиг. 279.)



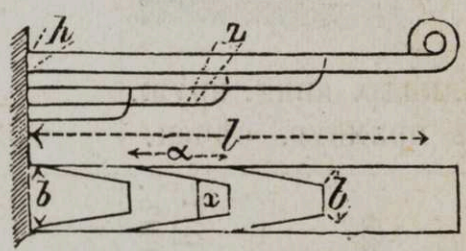
фиг. 277 и 279.

Вмѣсто того, чтобы концы отдѣльныхъ пружинъ дѣлать треугольными, ихъ заостряютъ по кубической параболѣ (фиг. 280 и 281), причемъ онѣ всѣ имѣютъ одинаковую ширину, или ихъ дѣлаютъ трапецевидными (фиг. 282 и 283).

Въ этомъ случаѣ нужно еще заострять концы; заостреніе получается изъ слѣдующей формулы: $z=h\sqrt[3]{\frac{bx}{bx+b_1(a-x)}}$.

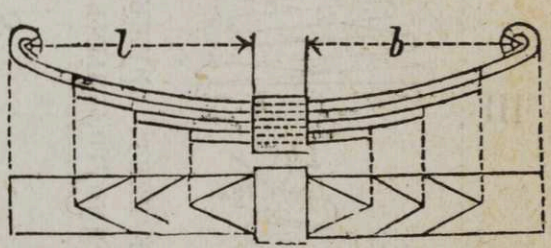


фиг. 280 и 281.



фиг. 282 и 283.

Обыкновенно соединяютъ двѣ рессоры въ одну (фиг. 284) и придаютъ имъ нѣкоторую кривизну, которой пренебрегаютъ при разсчетѣ сопротивленія.

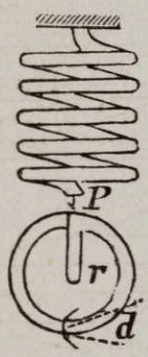
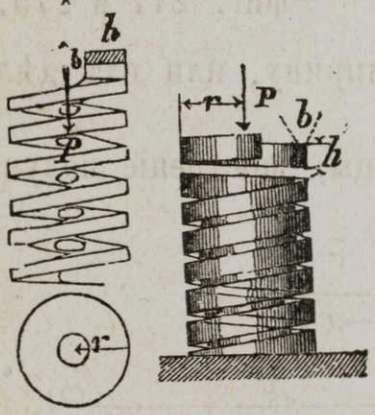
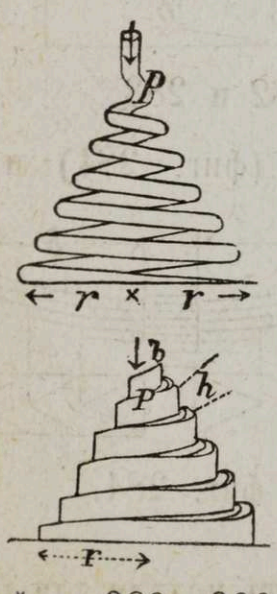


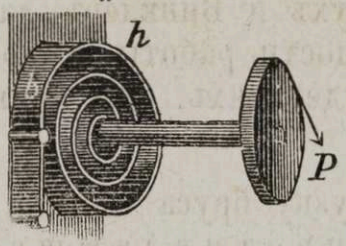
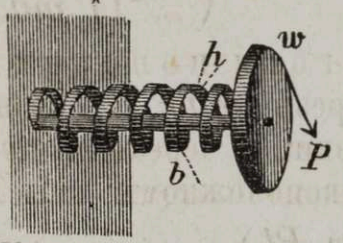
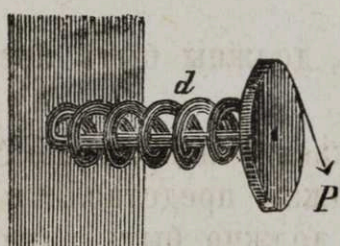
фиг. 284.

c) Винтовыя и спиральныя пружины. Пусть здѣсь значатъ: P допускаемая нагрузка, S_2 допускаемое напряженіе матеріала на единицѣ площади, G модуль упругости для сдвига и крученія, который, какъ извѣстно, равенъ $\frac{2}{5}$ отъ модуля для растя-

женія, n число спиралей, r наибольшій радіусъ пружины до средины тѣла, δ измѣненіе длины, вызванное силой P, $\frac{\delta}{r}$ отношеніе измѣненія длины къ радіусу и l длина рястянутой пружины (фиг. 285 до 293).

Таблица для разсчета винтовыхъ и спиральныхъ пружинъ.

№	Названіе и форма пружины.	Дѣйств. сила $P=$	Прогибъ $f=$	Гибкость $\frac{f}{r}=$	Объемъ въ сравненіи съ Nr I
I	фиг. 285.  Цилиндрическая винтовая пружина съ круглымъ сѣченіемъ.	$\frac{S_2\pi d^3}{16r}$	$\frac{64nPr^3}{Gd^4}$	$\frac{4\pi nSr}{Gd}$	1
II	фиг. 286—288.  Цилиндр. винт. пруж. съ прямоуг. сѣчен.	$\frac{S_2b^2h^2}{3r\sqrt{b^2+h^2}}$	$\frac{6\pi nPr^3(b^2+h^2)}{Gb^3h^3}$	$\frac{2\pi nSr\sqrt{b^2+h^2}}{Gbh}$	$^2/_5$
III	 фиг. 289 и 290. Коническая винт. пружина съ круглымъ и прямоугольнымъ сѣченіемъ.	$\frac{S_2b^2h^2}{3r\sqrt{b^2+h^2}}$ $\frac{S_2\pi d^3}{16r}$	$^1/_4$ до $^1/_3$ прогиба предъидущихъ пружинъ.		$^8/_{15}$ $^4/_5$

№	Названіе и форма пружины.	Дѣйств. сила $P=$	Прогибъ $f=$	Уголъ круч. $w=\frac{f}{r}$	Объемъ въ сравненіи съ Nr I
IV	фиг. 291  Спиральная пружина съ прямоуг. поперечнымъ сѣченіемъ.	$\frac{Sbh^2}{6r}$	$\frac{12Plr^2}{Ebh^3}$	$\frac{2Sl}{Eh}$	1
V	фиг. 292.  Крутящая винтовая пружина съ прямоугольнымъ сѣченіемъ.	$\frac{Sbh^2}{6r}$	$\frac{12Plr^2}{Ebh^3}$	$\frac{2Sl}{Eh}$	1
VI	фиг. 293.  Крутящая винтовая пружина съ круглымъ сѣченіемъ.	$\frac{S\pi d^3}{32r}$	$\frac{64Plr^2}{\pi Ed^4}$	$\frac{2Sl}{Ed}$	$^4/_5$

83. Крѣпость работы. Подъ этимъ по Лаунгарду понимаютъ наибольшее напряженіе A единицы площади бруса, для котораго (напряженія) поломка бруса наступаетъ только послѣ большаго числа повтореній нагрузки. По опытамъ Велера крѣпость работы A менѣе коэффиціента крѣпости K, для котораго поломка бруса слѣдуетъ уже послѣ однократнаго дѣйствія силы.

Начатые Велеромъ и продолженные Шпатенбергомъ опыты съ желѣзомъ и сталью подъ вліяніемъ повторенныхъ перемѣнъ напряженій на брусъ привели къ слѣдующимъ законамъ Велера:

1. Изломъ матеріала можетъ быть произведенъ напряженіемъ значительно меньшимъ его крѣпости, если оно повторяется достаточное число разъ

2. Число нужныхъ для излома повтореній будетъ тѣмъ больше, 1) чѣмъ меньше наибольшее напряженіе при одинаковомъ (постоянномъ) наименьшемъ напряженіи; 2) чѣмъ больше наименьшее напряженіе при одинаковомъ (постоянномъ) наибольшемъ напряженіи, 3) чѣмъ меньше разность наибольшаго и наименьшаго напряженія.

3. Если наибольшее напряженіе меньше нѣкотораго предѣла, зависящаго отъ наименьшаго напряженія, то изломъ никогда не бываетъ; число повтореніи можетъ быть какое угодно большое.

4. Крѣпость работы тѣмъ больше, чѣмъ больше наименьшее напряженіе.

На основаніи законовъ Велера инженеры и профессоры Бекеръ, Герберъ, Лаунгардтъ, Мюллеръ, Шофлеръ, Вейраухъ и Винклеръ дали въ послѣднее время формулы для вычисленія крѣпости работы и допускаемаго напряженія въ желѣзныхъ и стальныхъ деталяхъ. Мы приведемъ здѣсь только формулы Вейрауха [1]).

Пусть $min.B$ означаетъ наименьшую нагрузку бруса и $max.B$— наименьшую нагрузку; тогда для бруса, сопротивляющагося только растяженію или только сжатію, крѣпость работы въ килогр. на □ см. будетъ: для желѣза

$$A=2100\left(1+\frac{1}{2}\frac{min.B}{max.B}\right),$$ для литой стали $$A=3300\left(1+\frac{9}{11}\frac{min.B}{max.B}\right)$$

далѣе для бруса, сопротивляющагося поперемѣнно то растяженію, то сжатію, если черезъ $max.B$ обозначимъ абсолютный максимумъ встрѣчающейся нагрузки, а черезъ $max.B_1$— относительно наибольшую нагрузку въ противоположномъ смыслѣ, то получимъ; для желѣза $$A=2100\left(1-\frac{1}{2}\frac{max.B'}{max.B}\right),$$ для литой стали

$$A=3300\left(1-\frac{5}{11}\frac{max.B'}{max.B}\right).$$

Впрочемъ брусья, сопротивляющіеся сжатію, должны быть предохранены отъ боковаго сгибанія.

Въ заключеніи упомянемъ еще, что допускаемое напряженіе S [2]) на единицу площади всѣхъ деталей, которыя должны представлять достаточное сопротивленіе перемѣнной нагрузкѣ, должно быть опредѣлено по крѣпости работы A. Если такимъ образомъ по Вейрауху выбрать 3 кратную прочность, то $S=\frac{A}{3}$.

Отсюда получается допускаемое напряженіе S на □ см. въ килогр. для деталей, подверженныхъ только растяженію или только сжатію:

$$\left.\begin{aligned}\text{для желѣза } S&=700\left(1+\frac{1}{2}\frac{min.B}{max.B}\right)\\ \text{для литой стали } S&=1100\left(1+\frac{9}{11}\frac{min.B}{max.B}\right)\end{aligned}\right\}\quad\ldots\quad(36)$$

---

[1]) Dr. I. Weyrauch's Festigkeit—u. Dinensicnen berechnung d. Eisen-u. Shahl Constructionen, Leipzig, Teubner 1876.

[2]) Или практическая крѣпость работы. Новая формула профессора М. М. Черепашинскаго приведена въ его брошюрѣ: Новый Методъ вычисленія желѣзныхъ и стальныхъ сооруженіи. 1883; а также въ извѣстіяхъ политехническаго Общества, состоящаго при Императорскомъ Московскомъ Техническомъ училищѣ, выпускъ V.

и для деталей съ противоположными нагрузками, слѣдовательно подверженныхъ и растягиванію и сжатію:

$$\text{для желѣза } S = 700\left(1 - \frac{1}{2}\,\frac{max.B'}{max.B}\right)$$

$$\text{для литой стали } S = 1100\left(1 - \frac{5}{11}\,\frac{max.B'}{max.B}\right) \quad \ldots \quad (37)$$

Въ постройкахъ крышъ и мостовъ обыкновенно $min.\ B$ вызвано собственнымъ вѣсомъ и $max.\ B$ — полной нагрузкой (собственный вѣсъ плюсъ временная или подвижная нагрузка).

Для уясненія приведемъ слѣдующіе примѣры.

1. Примѣръ. Какъ велики допускаемое напряженіе S и поперечное сѣченіе F желѣзнаго тяжа рѣшетчатой балки, наименьшая нагрузка которой равна 1000 килогр., а наибольшая 6000 килогр.?

По (36) для $min.B = 1000$, и $max.B = 6000$ килогр.

$$S = 700\left(1 + \frac{1}{2}\,\frac{1000}{6000}\right) = 760 \text{ килогр. на } \square \text{ см.}$$

отсюда площадь поперечнаго сѣченія $F = \frac{max.B}{k} = \frac{6000}{760} = 7{,}9\ \square$ см.

2. Примѣръ. Какъ велики допускаемое напряженіе S и поперечное сѣченіе F желѣзнаго діагональнаго тяжа балки, въ которой подвижная нагрузка вызываетъ противоположныя наибольшія нагрузки +7080 килогр. и −1770 килогр.?

Здѣсь $max.B = 7080$ и $max.B' = 1770$, слѣдов. по формулѣ (37).

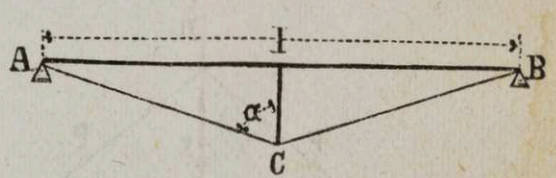
$$S = 700\left(1 - \frac{1}{2}\,\frac{1770}{7080}\right) = 610 \text{ килогр. на } \square \text{ см.}$$

$$\text{и } F = \frac{max.B}{610} = \frac{7080}{610} = 11{,}6\ \square \text{ см.}$$

ПОВѢРКА ПРОЧНОСТИ СООРУЖЕНІЙ.

84. Усиленныя деревянныя балки. 1. Составныя балки, образованныя изъ нѣсколькихъ деревянныхъ брусьевъ, соединенныхъ зубьями съ болтами и хомутами или же шпонками, слѣдуетъ расчитывать какъ обыкновенныя балки, но крѣпость ихъ принимается въ $^3/_4$ крѣпости цѣльнаго бруса тѣхъ же размѣровъ. Такія балки представляютъ то неудобство, что со временемъ онѣ разслабляются и сильно прогибаются.

2. Балка, изображенная на фиг. 294, при равномѣрной нагрузкѣ въ p клгр. на погонный метръ имѣетъ наибольшій моментъ $M_0 = {}^1/_{32}\ pl^2$.



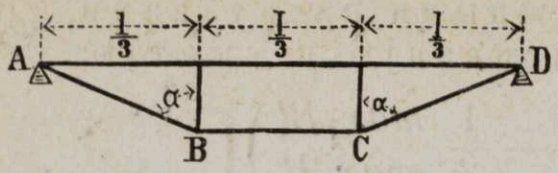
Фиг. 294.

Давленіе на опоры A и $B = -\,{}^3/_{16}\ pl$

„ „ среднюю бабку $C = -\,{}^5/_8\ pl$

„ „ по направленію $AB = -\,{}^5/_{16}\ pl.\ \text{tang}\alpha$

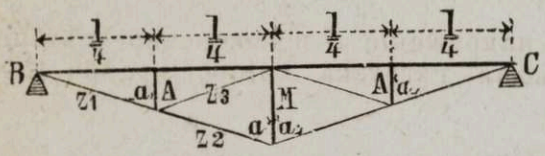
Растяженіе въ тяжахъ AC и $BC = +\,{}^5/_{16}\ \frac{pl}{\cos\alpha}$.



фиг. 295.

3. Балка, усиленная двумя подпорками (фиг. 295) и нагруженная въ p клгр. на погонный метръ имѣетъ наибольшій моментъ $M_0 = {}^1/_{90}\, pl^2$.

Давленіе на опоры A и D $= -\,{}^4/_{30}\, pl$
„ „ среднія бабки B и C $= -\,{}^{11}/_{30}\, pl$
„ по оси = растяженію въ $BC = -\,{}^{11}/_{30}\, pl\, \mathrm{tang}\alpha$
Растяженіе въ тяжахъ AB и $CD = +\,{}^{11}/_{30}\, \dfrac{pl}{\cos\alpha}$.



фиг. 296.

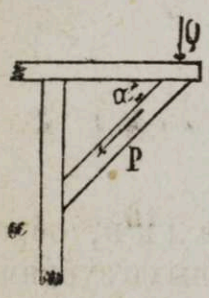
4. Балка съ тремя бабками (фиг. 296). Если длина промежутковъ $= {}^l/_4$, то наибольшій сгибающій моментъ $M_0 = {}^6/_{224}\, pl^2$ надъ подпорками A. Моментъ на средней подпоркѣ $M = {}^4/_{224}\, pl^2$. Давленіе отъ соединенія тяжей на опоры B и $C = {}^{11}/_{112}\, pl$, такъ что равнодѣйствующее опорное противодѣйствіе $= -\,({}^{56}/_{112}\, pl - {}^{11}/_{112}\, pl) = {}^{45}/_{112}\, pl$.

Давленіе въ балкѣ по направленію $BC = -\,{}^{45}/_{112}\, pl.\, \mathrm{tang}\alpha$
„ на бабки $A = -\,{}^{32}/_{112}\, pl$
„ на бабку $M = -\,{}^{58}/_{112}\, pl$

Растяженіе $Z_1 = {}^{45}/_{112}\, \dfrac{pl}{\cos\alpha}$, $Z_2 = {}^{29}/_{112}\, \dfrac{pl}{\cos\alpha}$; $Z_3 = {}^{16}/_{112}\, \dfrac{pl}{\cos\alpha}$.

85. Подкосныя и подвѣсныя шпренгельныя системы. 1. Подкосъ (фиг. 297). Усиліе, сжимающее подкосъ, поддерживающій балку, нагруженную грузомъ Q, имѣетъ величину

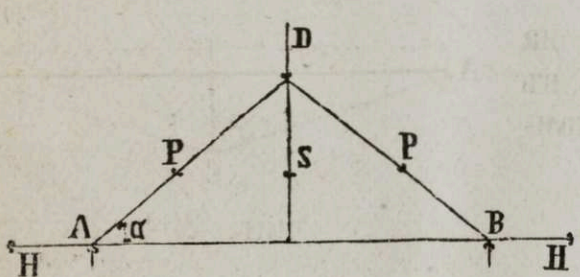
$$P = \frac{Q}{\sin\alpha}$$



фиг. 297.

Никогда не должно терять изъ вида, что горизонтальная часть стремится вырваться изъ своего закрѣпленія, вращаясь около нижней точки подкоса, съ усиліемъ $= {}^{ac}/_{cb}\, Q = Q\, \mathrm{cotg}\alpha$.

2. Простая подвѣсная система (или ферма) фиг. 298. Пусть D нагрузка, которая дѣйствуетъ на вершинѣ (внѣ кровли) и Q полный грузъ, распредѣленный равномѣрно на прогонъ AB (могущій происходить, напримѣръ, отъ висячаго пола). Тогда противодѣйствіе опоръ: $R = -({}^1/_2\, D + {}^5/_{16}\, Q)$; усиліе, растягивающее бабку, $S = {}^5/_8\, Q$. Давленіе въ раскосахъ и натянутость прогона:



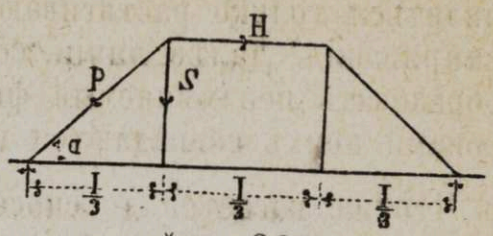
фиг. 298.

$$P = \frac{{}^1/_2\, D + {}^5/_{16}\, Q}{\sin\alpha};\quad H = {}^1/_2\, D + {}^5/_{16}\, Q\, \mathrm{cotg}\alpha,$$

3. Для системы съ двумя бабками и съ ригелемъ между ними, изображенной на фиг. 299.

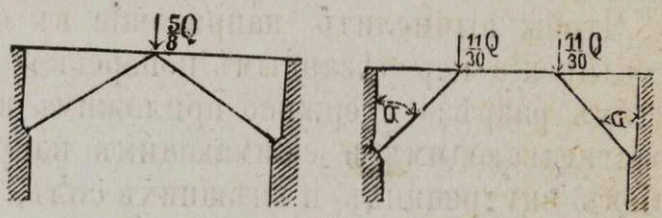
$$S=-{}^{11}/_{30}\ Q;\quad P={}^{11}/_{30}\frac{Q}{\sin\alpha};$$

$$H={}^{11}/_{30}\frac{Q}{\operatorname{tang}\alpha}.$$



фиг. 299.

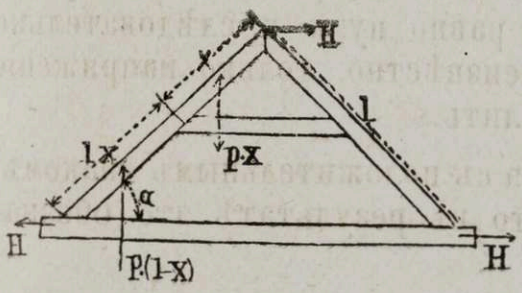
4. Если балки подперты подкосами (фиг. 300 и 301), то при одинаковыхъ величинахъ l, α и Q получаются тѣже самыя напряженія.



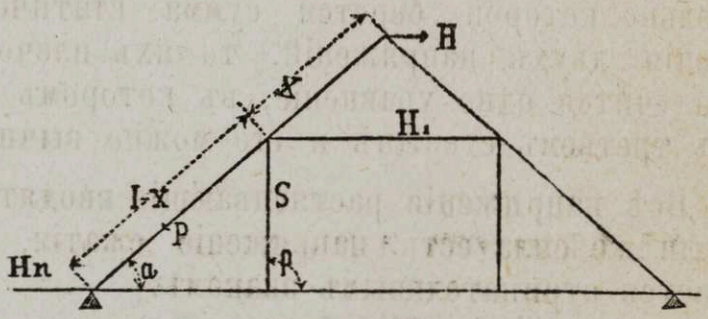
фиг. 300—301.

5. Стропило простое съ ригелемъ (фиг. 302). Пусть l длина стропильныхъ ногъ; p грузъ на единицу длины; тогда горизонтальный сдвигъ H

$$H=p\frac{l+x}{2}\operatorname{cotg}\alpha.$$



фиг. 302.



фиг. 303.

Если стропило устроено съ ригелемъ и 2 бабками, какъ изображаетъ фиг. 303, то

$$H=px\ \operatorname{cotg}\beta+{}^{1}/_{2}\ p\ (l-x)\ \operatorname{cotg}\alpha;\quad \beta=90^{0}\ \text{(см. фиг. 303)};$$

$$H={}^{1}/_{2}\ p\ (l-x)\ \operatorname{tang}\alpha.$$

Такъ какъ $Q=pl$; то для фиг. 303.

$$H={}^{3}/_{16}\ Q\operatorname{cotg}\alpha;\quad H_1={}^{5}/_{16}\ Q\sin 2\alpha;\quad P={}^{1}/_{16}\ Q\left(\frac{3}{\sin\alpha}+10\ \sin\alpha\right);$$

$$S={}^{5}/_{8}\ Q\cos^2\alpha.$$

$H_n={}^{1}/_{16}\ Q\ \operatorname{cotg}\alpha\ (3+10\ \sin^2\alpha)$ растяженіе въ прогонѣ.

Для расчета частей ногъ служитъ формула: Моментъ инерціи

$$J={}^{1}/_{2}\frac{Sl^2}{E\sin\alpha}.$$

86. b) **Стропила металлическія.** Въ конструкціяхъ изъ металла слѣдуетъ прежде всего обращать вниманіе на то, чтобы поперечное сѣченіе могло развивать сопротивленіе самому большому изъ ожидаемыхъ напряженій, и чтобъ съ другой стороны при полной нагрузкѣ оно дѣйствительно достигало наибольшей величины напряженій. Всякій излишній матеріалъ невыгоденъ, потому что онъ только увеличиваетъ постоянный грузъ. Вслѣдствіе этого должно стремиться такъ расположить

соединеніе стержней, чтобы отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ могли проявляться только растягивающія и сжимающія силы, но не сгибающія напряженія. Далѣе линіи, соединяющія узловыя точки балокъ, должны образовать неизмѣняемыя фигуры, слѣдовательно треугольники, со сторонами коихъ совпадаются направленія напряженій.

Что же касается до способа изслѣдованія, то въ главныхъ чертахъ онъ выражается такъ:

Чтобы вычислить напряженіе въ одномъ изъ стержней, вообразимъ соединеніе перерѣзаннымъ поперегъ и часть удаленною. Если къ плоскостямъ разрѣза стержней приложимъ внѣшнія силы, равныя внутреннимъ растягивающимъ и сжимающимъ напряженіямъ, то эта часть подъ вліяніемъ внутреннихъ и внѣшнихъ силъ, измѣряющихъ напряженія, должна находиться въ равновѣсіи.

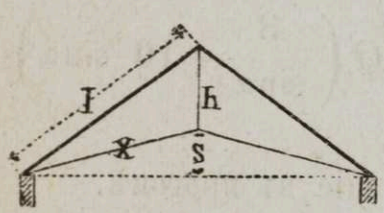
Предполагая, что всѣ силы находятся въ одной плоскости, алгебрическая сумма статическихъ моментовъ относительно какой-нибудь точки плоскости будетъ равна нулю.

Если принять въ соображеніе, что произвольное прямое, кривое и т. п. сѣченіе встрѣчаетъ не болѣе 3 стержней и выбирать точку, относительно которой берется сумма статическихъ моментовъ, на пересѣченіи двухъ напряженій, то ихъ плечо равно нулю и слѣдовательно получится одно уравненіе, въ которомъ неизвѣстно только напряженіе въ третьемъ стержнѣ и его можно вычислить.

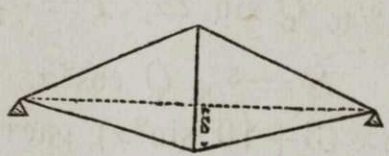
Всѣ напряженія растягивающія вводятся съ положительнымъ знакомъ; если же сила есть напряженіе сжатія, то въ результатѣ это обозначается отрицательнымъ знакомъ.

Моменты силъ, вращающихъ вправо, вводятся въ вычисленіе съ положительнымъ,—а вращающихъ налѣво съ отрицательнымъ знакомъ.

Въ слѣдующихъ формулахъ плеча слѣдуетъ опредѣлять изъ вычерченной сѣти фермы. Далѣе Q обозначаетъ грузъ, равномѣрно распредѣленный на половинѣ фермы. Напряженія обозначены соотвѣтствующими большими буквами.



фиг. 304.



фиг. 305.

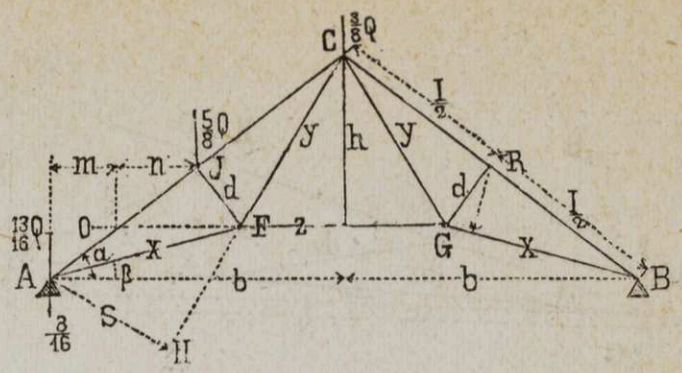
Система *A*. Употребляться можетъ для пролетовъ до 10 м. Усилія въ частяхъ x, h и l

Фиг. 304 . . . $X=\frac{Qx}{2h}$; $H=\frac{Q\,.\,s}{h}$; $L=\frac{Q\,.\,l}{2h}$

если $s=O$, то и $H=O$,

Фиг. 305 (для плоскихъ крышъ) $H=-\frac{Qs}{h}$

Система *B*. Простое стропило Полонсо (съ одною подпоркою). Употребляется для пролетовъ до 15 м. и строится такъ, какъ дано на фиг. 306



фиг. 306.

$r \perp$ изъ R на GB;

OF продолженіе линіи FG;

FH „ „ CF;

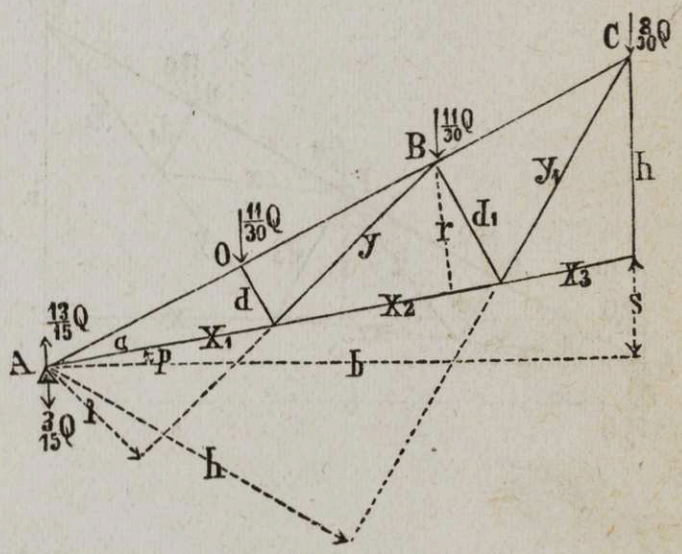
$s \perp$ къ FH; m и n проэкціи AO и OJ.

При длинѣ стропил. ноги$=l$ и пролетѣ$=2b$; $X=\frac{13}{32}Q \cdot \frac{b}{r}$

$Y=\frac{Q}{16s}(13\ m.+10n)$; $J=\frac{Q \cdot b}{2h}$; $D=-{}^5/_8\ Q \cdot \frac{b}{l}$

Сжатіе въ $AJ=-X \cdot \frac{\cos\beta}{\cos\alpha}$; въ $JC=-Y\frac{\sin(2\alpha-\beta)}{\sin\alpha}$

Система *C* (фиг. 307) употребляется для пролетовъ до 20 метр.



фиг. 307.

$AO=OB=BC=\frac{l}{3}$;

$X_1={}^{52}/_{90}\ Q \cdot \frac{b}{r}$;

$X_2={}^{41}/_{90}\ Q\ \frac{b}{r}$;

$Y={}^{11}/_{90}\ Q\ \frac{b}{t}$;

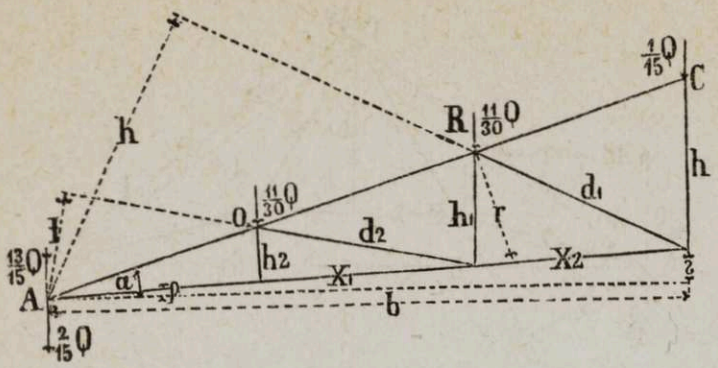
$D=-{}^{22}/_{60}\ Q\ \frac{b}{l}$;

$H={}^2/_3\ Q\ \frac{b}{r}\sin\beta$; $X_3={}^{30}/_{90}\ Q\ \frac{b}{t}$;

$Y_1={}^{11}/_{30}\ Q\frac{b}{t_1}$; $D_1={}^{33}/_{60}\ Q\frac{b}{l}$;

Давленіе въ $AO=-\left({}^{13}/_{15}\ Q\frac{\cos\beta}{\sin(\alpha-\beta)}\right)$;

„ „ $OB=-\left({}^{13}/_{15}\ Q\frac{\cos\beta}{\sin(\alpha-\beta)}-{}^{11}/_{30}\ Q\ \sin\alpha\right)$;



фиг. 308.

Система D (англійское стропило) фиг. 308 употребляется для пролетовъ до 20 м.

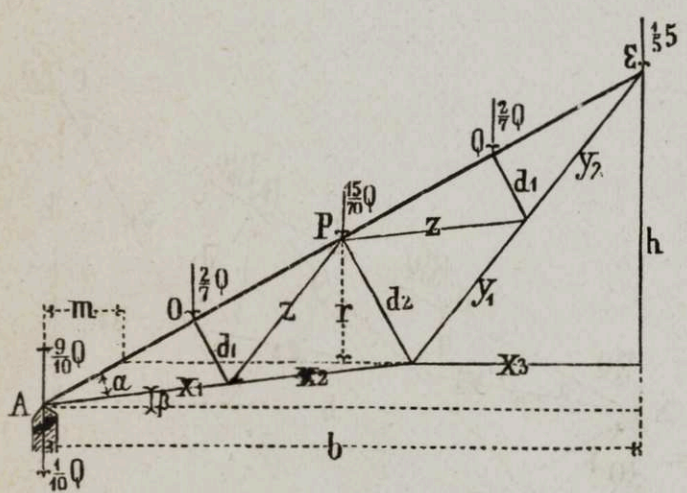
При тѣхъ же данныхъ какъ въ предъидущемъ:

$$X_1 = {}^{52}/_{90} Q \cdot \frac{b}{r}; \quad X_2 = {}^{41}/_{90} Q \frac{b}{r}; \quad H_1 = {}^{11}/_{60} P; \quad H = \frac{Q}{15h}(11h + 15s)$$

Бабка h_2 діаметромъ 1,5 см. служитъ для подвѣшиванія X_1

$$D = {}^{11}/_{90} Q \cdot \frac{b}{t}; \quad D_1 = {}^{11}/_{30} Q \frac{b}{t_1}$$

Сжатіе въ ногѣ $AO = -{}^{13}/_{15} Q \cdot \frac{\cos\beta}{\cos(\alpha - \beta)} = X_1 \frac{\cos\beta}{\cos\alpha}$



Система E. Болѣе сложное стропило Полонсо (съ 3 подпорками) употребляется для пролетовъ въ 25 до 30 метр. (фиг. 309).

При совершенно симметрическомъ расположеніи узловыхъ точекъ:

фиг. 309.

$$X_1 = 0{,}45 \; Q \cdot \frac{b}{r}; \quad y_1 = Qb \frac{(0{,}26 - 0{,}05 \; m.)}{r\,(b - m.)}; \quad X_2 = 0{,}379 Q \frac{b}{r};$$

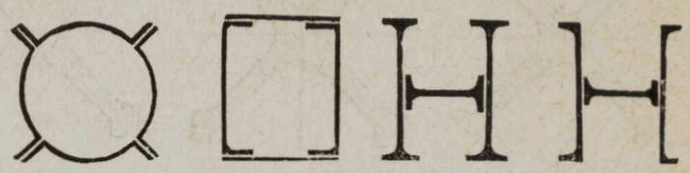
$$y_2 = Qb \frac{(0{,}191 + 0{,}121 m.)}{r.\,(b. - m)}; \quad X_3 = \frac{Qb}{2h}; \quad D_1 = -0{,}285 \frac{Qb}{l}$$

$D_2 = -0{,}514 \frac{Qb}{l}$; бабка h діаметромъ отъ 1,5 до 2,5 сантиметр.

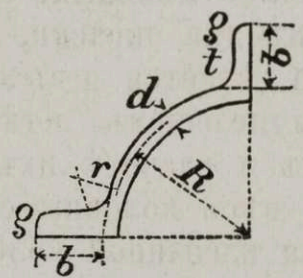
Сжатіе въ части ноги $AO = -X_1 \frac{\cos\beta}{\cos\alpha}$;

„ „ „ „ $OP = -{}^{43}/_{37} \frac{Q}{\mathrm{cotg}\alpha - \mathrm{tang}\alpha}$;

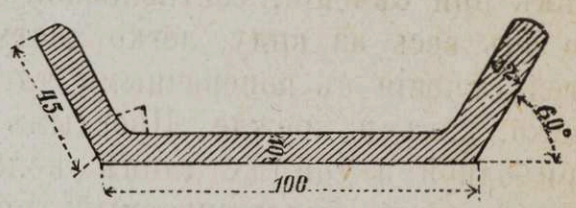
87. Стойки изъ угловаго и тавроваго желѣза. Онѣ встрѣчаются въ фахверковыхъ мобзахъ а именно въ мостахъ, обычнаго въ Америкѣ, способа постройки съ скрѣпленіями на винтахъ. Стоячіе стержни суть стойки съ подвижными концами, второй случай, фиг. 258; точно также верхній поясъ сопротивляется отламыванію соотвѣтственно къ четвертому случаю, фиг. 260. Слѣдующія фигуры 310—319 представляютъ формы сѣченій, наиболѣе часто встрѣчаемыя. Первое изъ представленныхъ сѣченій употребляется для косяковъ въ мостостроительномъ заводѣ въ Фениксвиллѣ въ Пенсильваніи. Стойка образуется изъ квадратнаго желѣза (фиг. 318), иногда изъ секстантнаго (фиг. 319). Обходятся весьма немногими номерами, потому что для усиленія вклепываются между полями квадратнаго желѣза плоскія прокладки различной величины сѣченія; при такой разстановкѣ полей всѣ соединенія этихъ балокъ съ поперечными (струнами, тягами и пр.) приводятся къ весьма простымъ формамъ. Четыре слѣдующія формы (фиг. 311—314) употребляются въ заводѣ Кейстаунъ. При выборѣ размѣровъ сѣченія стараются поступать такъ, чтобы (экваторіальный) моментъ инерціи выходилъ одинаковый для обѣихъ главныхъ осей. Пятое сѣченіе, какъ указываетъ пунктиръ на срединѣ фиг. 314, есть тоже двойное *T*. Форму сѣченія, происходящую при этомъ, употребляютъ для поясовъ и берутъ до трехъ такихъ двойныхъ *T*— балокъ. Послѣднее изъ вышеизображенныхъ сѣченій, образующееся черезъ соединеніе 4 полосъ угловаго желѣза (фиг. 317), употребляется въ новѣйшее время для шахтныхъ штангъ (напр. на рудникѣ Президентъ въ Вестфаліи, на верхнемъ концѣ угловое желѣзо съ наружною шириною полокъ 155 мм. при толщинѣ 18 мм.). Расчетъ на отламываніе сводится здѣсь къ опредѣленію допускаемаго разстоянія между направляющими для штанги.



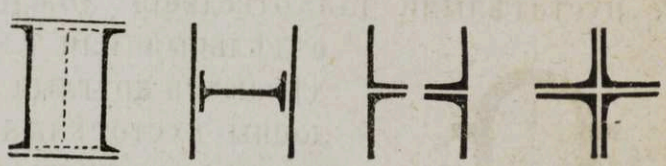
фиг. 310—313.



фиг. 318.



фиг. 319.



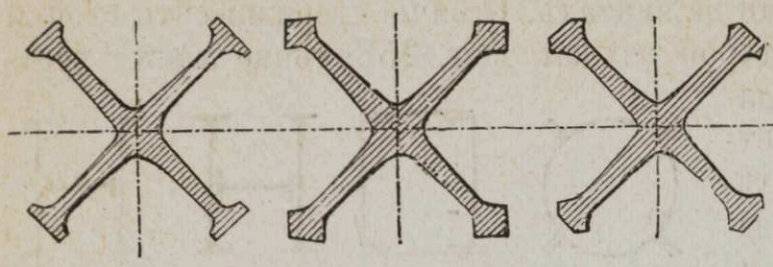
фиг. 314—317.

Характерная особенность этихъ профилей въ томъ, что въ нихъ матеріалъ весьма выгодно распредѣленъ по отношенію къ сопротивленію при дѣйствіи сгибающихъ и сдавливающихъ силъ, поэтому пустотѣлыя колонны и балки, склепанныя изъ полосъ, такимъ образомъ профилированныхъ, при надлежашей крѣпости, обладаютъ весьма большой легкостью, въ особенности при склепкѣ ихъ на прокладкахъ между полями.

Въ послѣдніе 2—3 года въ Вестфаліи инженеромъ Sack *) дѣла-

*) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1882, № 48, 1868, № 2.

ются опыты фабрикаціи желѣзныхъ колоннъ съ крестообразнымъ поперечнымъ сѣченіемъ трехъ различныхъ формъ, указанныхъ на фиг. 320—322.



фиг. 320—322.

Прокатка такихъ профилей происходитъ на машинѣ съ 4 валами, изъ которыхъ только 2 главныхъ параллельныхъ одинъ другому приводятся въ дѣйствіе отъ двигателя, а два другихъ, только замыкающихъ калибръ, вращаются вольно. Каждая изъ лопастей крестообразнаго сѣченія утоняется, идя отъ центра сѣченія къ его внѣшней окружности, гдѣ снова получаетъ уширеніе, способствующее увеличенію крѣпости сѣченія. Хотя матеріалъ въ крестообразномъ сѣченіи и менѣе выгодно распредѣленъ, чѣмъ при сѣченіи, составленномъ изъ отдѣльныхъ квадрантовъ, но за то онъ весь на виду, легко доступенъ для окраски, а соединеніе лопастей сѣченія съ поперечными тягами дѣлается и въ этомъ случаѣ также легко, какъ и прежде. Простымъ вычисленіемъ легко обнаружить, что при одной и той же длинѣ колоннъ и расчетѣ ихъ на одинъ и тотъ же безопасно выдерживаемый грузъ вѣсъ колонны съ крестообразнымъ сѣченіемъ будетъ тяжелѣе, чѣмъ для клепанной колонны, составленной изъ однихъ квадрантовъ, на $26^1/_2{}^0/_0$, но за то легче литой чугунной колонны на $20^0/_0$ и желѣзной склепанной изъ 4 угольниковъ—на $11^0/_0$.

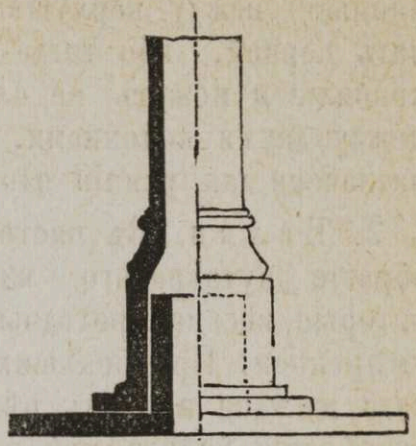
88. Желѣзныя постройки. 1. К о л о н н ы. Желѣзная постройка обыкновенно составляется изъ столбовъ или колоннъ, чугунныхъ или иногда желѣзныхъ, поддерживающихъ желѣзное стропило; покрытое пространство обыкновенно бываетъ ограждено легкими стѣнками. Тогда можно придать колоннамъ боковыя ребра для поддержанія кладки и сдѣлать ихъ пустотѣлыми для отведенія дождевой воды (фиг. 323). Колонны отдѣльныя или служащія внутренними подпорами дѣлаются круглыя сплошныя или пустотѣлыя. Колонны пустотѣлыя употребляются только при довольно значительной нагрузкѣ, ибо ихъ толщина всегда бываетъ довольно велика либо вслѣдствіе условій литейной, либо для устраненія неправильностэй отъ стержней особенно при горизонтальной отливкѣ. Если возможно, должно требовать, чтобъ отливка колоннъ производилась вертикально. Табличка на стр. 254 даетъ надлежащіе размѣры.



фиг. 323.

Чрезвычайно важно обезпечить колоннѣ совершенное прилеганіе на ея фундаментѣ. Обыкновенный способъ состоитъ въ подклиниваніи колонны и въ заливаніи цемента подъ ея основаніе, которое есть просто приливная кольцевая площадь съ небольшимъ выступомъ въ центрѣ, но этотъ способъ недостаточенъ при большихъ нагрузкахъ. Тогда всего лучше вмазать какъ можно тщательнѣе фундаментную плиту (фиг. 324), которая можетъ быть квадратная или многоугольная и укрѣпить ее къ кладкѣ 4 или 6 болтами такой же длины, какъ глубина фундамента. Эта плита на верхней ея сторонѣ можетъ имѣть ребра, направляющіяся

къ болтамъ, но обыкновенно это затрудняетъ установку. Въ центрѣ отливается втулка высотою въ 1,5 до 2 ея діаметра, который дѣлается нѣсколько меньше внутренняго діаметра основанія колонны. Часто отливаютъ на плитѣ крестъ (вмѣсто втулки); тогда рабочія плоскости на ней и на колоннѣ необходимо проточить или положить между ними свинцовое кольцо.

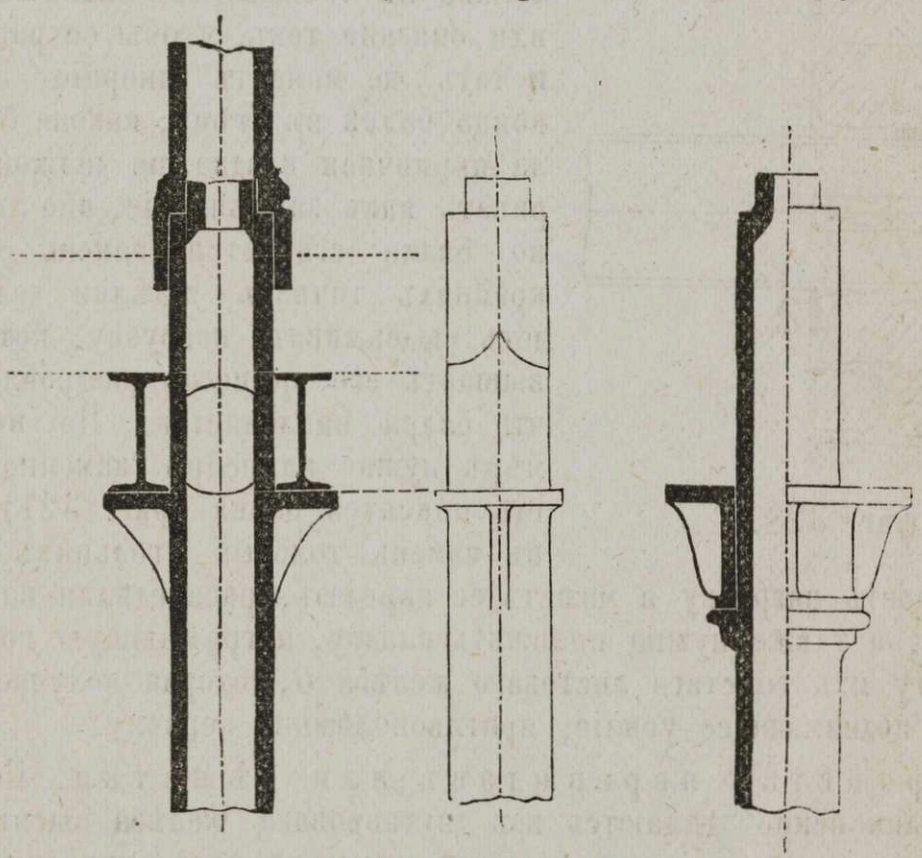


фиг. 324.

Колонна отливается съ расширеніемъ внизу при основаніи, которое обхватываетъ втулку плиты, и между обѣими частями, послѣ окончательной установки, заливаютъ цементъ черезъ небольшое отверзтіе, оставленное въ колоннѣ.

Капителямъ колоннъ должно придавать не архитектурныя формы, производимыя отъ общеизвѣстныхъ ордеровъ, но формы равной крѣпости, приноровленныя къ нагрузкамъ, которыя должны быть помѣщены въ нихъ (фиг. 325 до 327).

Въ зданіяхъ съ нѣсколькими этажами колонны, поддерживающія нѣсколько половъ, должно устанавливать основательно начиная съ фундамента, соединяя ихъ по фиг. 325 и 326; половыя балки помѣщаются съ боковъ на консоляхъ, которыя или отливаются вмѣстѣ съ колонною, или образуютъ кольцо (или коробку для деревянныхъ балокъ, стыкаемыхъ на колоннѣ) надѣтое на колонну и опирающееся на выступъ (фиг. 327).



фиг. 325—327.

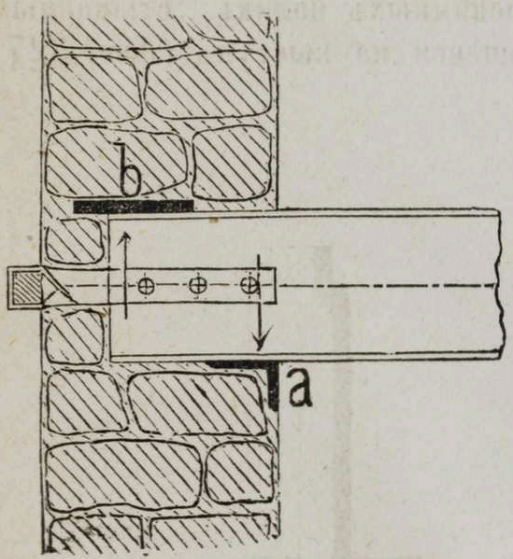
Впрочемъ, можно отливать колонну съ прямоугольнымъ сѣченіемъ въ мѣстѣ прохода балокъ, дабы лучше обезпечить ихъ положеніе; и ихъ скрѣпленіе; тогда оставляютъ заплечики и отверзтія для болтовъ, которые сжимаютъ все вмѣстѣ, и прокладываютъ клинья во избѣжаніе того, чтобы болты не заставляли коробиться тѣло балки.

Въ особенности нужно избѣгать укладки балокъ (желѣзныя или деревянныя) между верхушкою одной колонны и основаніемъ другой, стоящей надъ первой, ибо тогда всякое сгибаніе балокъ производитъ отклоненіе колонны и можетъ ее сломать; и кромѣ того раздробляющая нагрузка, между двумя колоннами, поддерживается тогда балкою, которая не предназначена для усилій этого рода.

2. Балки. Въ настоящее время въ торговлѣ имѣется большое разнообразіе двутавроваго желѣза большихъ размѣровъ съ широкими полями, которые весьма пригодны для образованія половыхъ балокъ, если нагрузка умѣренная. При большихъ нагрузкахъ балки дѣлаются изъ листоваго угловаго желѣза или изъ рѣшетокъ съ широкими подошвами. Нужно избѣгать разрѣзанія балокъ при встрѣчѣ колоннъ и придавать балкамъ наибольшую возможную длину. Слѣдовательно, балки обыкновенно идутъ по двѣ рядомъ, распертыя вмѣстѣ и сильно нажатыя къ колоннамъ болтами. Если колонны двойныя, то можно положить одну балку, проходящую между двухъ колоннъ.

Укладка балокъ на чугунныхъ консоляхъ не должна дѣлаться на ребрѣ консоли, которое она могла бы отломить, изгибаясь отъ нагрузки; слѣдовательно, полезно дѣлать слегка выпуклою опорную поверхность консоли.

Балки д. б. солидно закрѣплены своими концами въ стѣнахъ или на колоннахъ, куда онѣ притыкаются (фиг. 328).



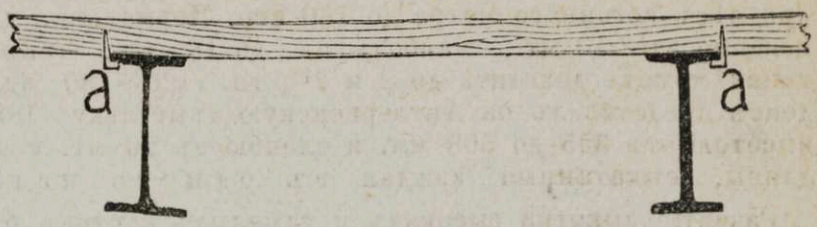
фиг. 328.

Дѣйствительное закрѣпленіе имѣется только въ точкахъ, гдѣ балка непрерывна или связана такъ, чтобы сохранить одинъ и тотъ же моментъ инерціи. Запусканіе конца балки въ стѣну; какова бы ни была кирпичная кладка, не должно разсматривать какъ закрѣпленіе, ибо лишь только балка сгибается, камень въ двухъ крайнихъ точкахъ задѣлки долженъ будетъ выдерживать нагрузку, которая превышаетъ его крѣпость раздробленія, такъ что балка наклоняется. Но по крайней мѣрѣ нужно на ребрѣ каменной кладки, гдѣ покоится балка (фиг. 321) задѣлать въ камень толстый угольникъ a, который принимаетъ нагрузку и можетъ ее передать, распредѣляя на большую поверхность; а также нужно положить кладку, нагружающую конецъ балки, на плиту изъ толстаго листоваго желѣза b, которая получаетъ и распредѣляетъ поднимающее усиліе, противоположное первому.

3) Устройство переводовъ или рѣшетки. Переводныя балочки обыкновенно дѣлаются изъ двутавроваго желѣза высотою 14 до 20 см., расчитаннаго по самой большой нагрузкѣ пола, прибавляя къ ней нагрузку на погонный метръ, происходящую отъ собственнаго вѣса пола. Самая меньшая величина этой нагрузки при заполненіи промежутковъ сводиками изъ пустотѣлаго кирпича можетъ быть принята въ 150 клгр. на кв. м.

Но когда не стѣсняются передачею шума, какъ въ большей части промышленныхъ заведеній, то можно обойтись и безъ этого усложненія и

класть паркетъ, напримѣръ еловый въ 34 мм., прямо на тавровое желѣзо по фиг. 329. Достаточно, чтобы переводины были хорошо нивелированы и хорошо удерживаемы на ихъ концахъ, чтобъ не опрокинуться. Паркетъ удерживается нѣсколькими костылями *a*, забитыми снизу и захватывающими поле балочки. Это устройство имѣетъ выгоду хорошаго сохраненія дерева которое остается провѣтриваемымъ снизу. Полезно его осмолить послѣ отдѣлки.



фиг. 329.

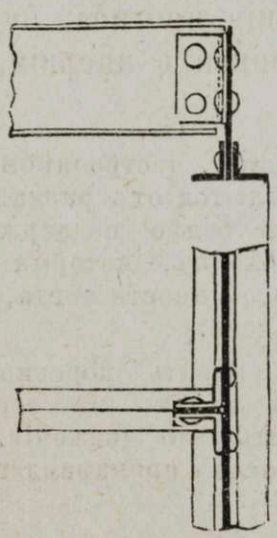
Если выступаніе балокъ снизу не составляетъ неудобства, должно класть переводины просто на балки, удерживая разстояніе между ними нѣсколькими тонкими тяжами или кирпичною кладкою промежутковъ. Въ этомъ случаѣ нужно брать переводины очень длинныя, чтобы покрывать нѣсколько пролетовъ; такимъ образомъ онѣ являются задѣланными въ мѣстѣ перехода на балкахъ.

Если же необходимо помѣстить балки внутри пола, то переводины должны присоединяться сбоковъ, если не пропускать ихъ сквозь балку, что иногда бываетъ возможно при рѣшетчатыхъ балкахъ.

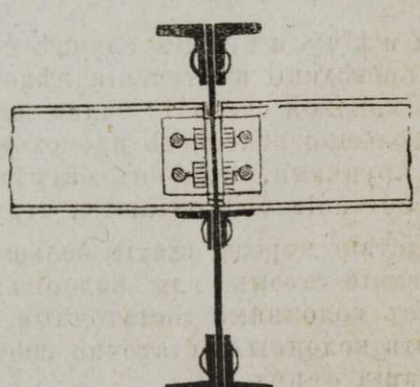
Соединеніе концовъ переводинъ съ балками должно дѣлаться помощію уголковъ (кусковъ угловаго желѣза) приклепываемыхъ къ балкѣ (фиг. 330) и, если возможно, то и къ переводинѣ, въ каковомъ случаѣ можно удовлетвориться однимъ угольникомъ въ каждомъ соединеніи. Если переводины привинчиваются, то лучше поставить два угольника, какъ на фигурѣ.

Во всякомъ случаѣ не слѣдуетъ ставить переводину на нижнюю полку балки, какъ это дѣлается слишкомъ часто.

При балкахъ большой высоты можно приклепать на всей длинѣ около средины угольники съ каждой стороны (фиг. 332), на которые кладутся переводины которыя тогда удерживаются промежуточными сводами. Нагрузка при этомъ приложена къ нейтральнымъ волокнамъ балки, что хорошо.



фиг. 330—331.



фиг. 332.

Въ то время, какъ 10 лѣтъ тому назадъ на высоту двутавровыхъ балокъ въ 300 мм. указывали, какъ на предѣльную, нынѣ въ числѣ нормальныхъ профилей, не затрудняющихъ выработкою ни одинъ заводъ находимъ подъ номеромъ 45-мъ такой, котораго высота достигаетъ уже 450 мм. и вѣсъ погоннаго метра 116,3, а наивысшею высотою въ тяжелыхъ балкахъ считается теперь 550 мм. при вѣсѣ погоннаго метра до 160 кгр. Нормальная длина баловъ считается обыкновенно въ 10 мт., наибольшая до 18 мт., такъ что вѣсъ прокатываемой болванки можетъ доходить до 2 и $2^1/_4$ тн. (120—130 пд.); бельгійскій заводъ Провиденсъ представилъ на Антверпенскую выставку 1885 г. 4 двутавровыхъ балки высотою отъ 355 до 508 мм. и длиною въ 20 мт. и одну 300 мм. вышины и 30 мт. длины, выкатанныя каждая съ одного нагрѣва болванки.

Развитіе выкатки высокихъ и тяжелыхъ сортовъ балочнаго желѣза особенно сильно началось съ тѣхъ поръ, какъ стали употреблять для этой цѣли плавленое желѣзо (Flusseisen). Опытами выяснено, что при совершенно одиноковыхъ условіяхъ относительно способа дѣйствія силъ на балки одинаковыхъ размѣровъ, выдѣланныхъ изъ пудлинговаго и плавленаго желѣза, послѣднія на 45—50% прочнѣе первыхъ. Въ настоящее время балки изъ плавленаго желѣза, можно имѣть на 30 до 40% дешевле пудлинговыхъ (при одинаковомъ размѣрѣ) и на столько же процентовъ прочнѣе ихъ. Только съ переходомъ къ выкаткѣ балочнаго желѣза изъ металла Томаса или Бессемера и явилась возможность не стѣсняться въ извѣстныхъ предѣлахъ ни размѣромъ, ни вѣсомъ прокатныхъ балокъ. Благодаря этому обстоятельству, стоимость возведенія заводскихъ построекъ при обильномъ примѣненіи плавленаго желѣза уменьшилась (въ Германіи) мѣстами въ 3 и 4 раза.

Для прокатки среднихъ сортовъ балочнаго желѣза (вѣсъ болванки 500 до 800 кгр.) употребляются станы съ 3 вальцами и скорость прокатки при этомъ бываетъ 2,6 м.; болѣе тяжелые сорты прокатываются всегда въ двухвальцовыхъ станахъ съ перемѣннымъ ходомъ. Сила двигателей бываетъ отъ 3000. (Витковицкій заводъ въ Австріи) до 6000 (Рехлингъ и Нейкирхенъ въ Германіи) индикатор. пар. лош.

Величина прогиба. При большихъ грузахъ необходимо вычислять прогибы какъ переводинъ, такъ и балокъ для самой большой нагрузки. Наибольшій провѣсъ f выражается для частей съ постояннымъ сѣченіемъ и для равномѣрно распредѣленной нагрузки $P_1=pl$ (гдѣ p грузъ на метръ длины l) слѣдующими формулами:

Фиг. 213. $f=\frac{1}{8}\frac{pl^4}{EJ}$; Фиг. 216. $f=\frac{5}{384}\frac{pl^4}{EJ}$; Фиг. 219. $f=\frac{1}{192}\frac{pl^4}{EJ}$; Фиг. 221. $f=\frac{1}{384}\frac{pl^4}{EJ}$.

Наибольшій провѣсъ на фиг. 219 будетъ на $0{,}4215l$ отъ задѣл. конца.

Отсюда видно, что жесткость балки при данной нагрузкѣ на метръ пропорціональна ея моменту инерціи и обратно пропорціональна четвертой степени ея пролета. Слѣдовательно, для уменьшенія прогиба будетъ выгоднѣе уменьшать пролеты нежели увеличивать моментъ инерціи, увеличивая высоту балки.

Примѣчаніе. Въ случаѣ сильнаго пожара въ зданіи, построенномъ на железѣ, переводины въ теченіи нѣкотораго времени сохраняются отъ раскаленія кирпичною кладкой сводовъ; балки же если онѣ выступаютъ болѣе подвержены ему, но наибольшая опасность происходитъ отъ чугунныхъ колоннъ, которыя дѣлаются весьма хрупкими, если онѣ нагрѣются до-красна и въ особенности тогда, когда въ этомъ состояніи онѣ обдаются струею изъ пожарнаго насоса.

Вслѣдствіе мороза сжатіе большихъ стропилъ можетъ вызвать перекашиваніе и обрушиваніе стоекъ или колоннъ; поэтому совѣтуютъ дѣлать въ соединеніяхъ фермъ съ колоннами достаточный зазоръ, чтобы дозволять это движеніе, или же оставлять колонны достаточно свободными, дабы онѣ могли принаравливаться къ деформаціи фермъ.

III. ГИДРАВЛИКА.

A. МЕХАНИКА ЖИДКИХЪ ТѢЛЪ.

89. Существенное свойство жидкаго тѣла состоитъ въ полной подвижности его частицъ относительно другъ друга; при этомъ сцѣпленіе между его частицами или столь слабо, что преодолѣвается самыми ничтожными силами, или же этого сцѣпленія не только не существуетъ, но частицы жидкаго тѣла имѣютъ постоянное стремленіе удаляться другъ отъ друга, такъ что для удержанія ихъ нужно употребить наружное усиліе. Въ первомъ случаѣ тѣло называется капельно-жидкимъ, во второмъ же газообразнымъ. Капельно-жидкія тѣла, вслѣдствіе весьма малой ихъ сжимаемости, часто называются неупругими жидкостями, наоборотъ газообразныя — упругими; капельныя жидкости имѣютъ гораздо меньшее сцѣпленіе, чѣмъ твердыя тѣла, но оно все таки гораздо болѣе, чѣмъ въ газообразныхъ тѣлахъ. Сцѣпленіе между частицами капельно жидкаго тѣла служитъ причиною образованія капель.

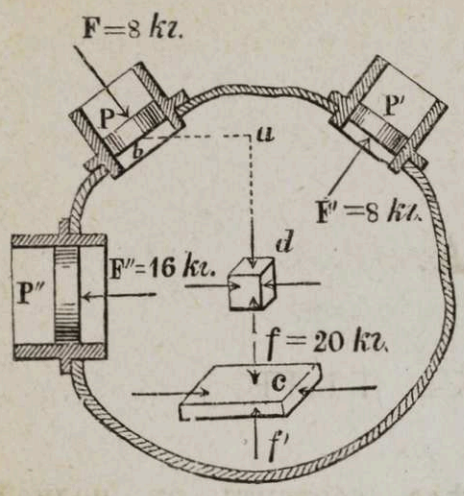
Ученіе о жидкостяхъ разсматриваетъ законы, которымъ онѣ слѣдуютъ въ состояніи покоя и вовремя движенія; поэтому ученіе о капельно-жидкихъ тѣлахъ, важнѣйшимъ представителемъ которыхъ слѣдуетъ разсматривать воду, распадается на два отдѣла.

1. Гидростатика.

т. е. ученіе о равновѣсіи капельныхъ жидкостей.

90. Законъ равенства давленій или законъ Паскаля. а) Если на какую нибудь часть поверхности невѣсомой жидкости, заключенной въ сосудѣ, произвести давленіе и если при этомъ жидкость остается въ равновѣсіи, то это давленіе распространяется въ жидкости по всѣмъ направленіямъ съ одинаковою силою или, какъ говорится, равномѣрно; каждый элементъ жидкости и стѣнокъ сосуда испытываетъ одинаковое давленіе. Это давленіе, отнесенное къ единицѣ площади, имѣетъ одинаковую величину, во всѣхъ точкахъ каково бы ни было ея направленіе. Нормальное давленіе на плоскую поверхность заключающаго ее сосуда пропорціонально этой поверхности.

Поэтому если разсмотримъ сосудъ съ нѣсколькими цилиндрами, снабженными поршнями (фиг. 333) и если на поршень P съ площадью въ 4 кв. см. производится давленіе F=8 клгр. то всѣ поршни стремятся выйти изъ своихъ цилиндровъ. Чтобы ихъ удержать очевидно нужно приложить къ нимъ силы, равныя и противоположныя силамъ F', F'', которыя давятъ на нихъ извнутри внаружу. Но опытъ и теорія указываютъ что: 1) для поршней имѣющихъ какъ напр., P' тоже самое основаніе, какъ и поршень P, внѣшнія силы, а стало быть и внутреннія давленія, какъ напр. F', равняются давленію, производимому на поршень P, или у насъ 8 клгр.; 2) Для поршней основаніе коихъ въ два, въ три и т. д. разъ больше поршня P, внѣшнія силы дѣлаются тоже въ два, въ три и т. д. разъ больше. Такъ что на поршнѣ P'', площадь на двое больше площади поршня P, внутреннее давленіе F'' будетъ 8 клгр. 2 = 16 клгр. А все это сводится къ тому, что различные поршни претерпѣваютъ постоянное давленіе на каждый квадратный сантиметръ ихъ площади, которое въ нашемъ примѣрѣ въ точности равно 2 клгр. Понятно, что и во всѣхъ точкахъ стѣнокъ сосуда существуютъ, какъ и на поршняхъ силы, которыя дѣйствуютъ извнутри внаружу перпендикулярно ко всякой малой части стѣнокъ и которыя давятъ на нее съ напряженіемъ, пропорціональнымъ ея площади. Эти силы образуютъ то, что называютъ давленіемъ жидкости на стѣнки сосуда. Съ другой стороны, если вообразимъ прямоугольное тѣло c, помѣщенное въ срединѣ жидкости, то всѣ его стороны будутъ точно также подвержены силамъ, перпендикулярнымъ къ ихъ плоскости и стремящимся раздробить это тѣло. Эти усилія составляютъ то, что называютъ давленіемъ жидкости на разсматриваемыя стороны. Законъ равенства давленія состоитъ въ томъ, что каждая изъ сторонъ тѣла, каково бы ни было ея направленіе, испытываетъ со стороны окружающей жидкости давленіе, пропорціональное ея величинѣ. Другими словами, если стороны имѣютъ площадь 10 кв. см., т. е. въ 2,5 раза болѣе поршня P, то онѣ испытываютъ тогда давленія f и f', каждое изъ коихъ равно 2,5 . 8 = 20 клгр. А изъ этого слѣдуетъ, что на каждый квадратный сантиметръ различныхъ сторонъ тѣла производится одно и тоже давленіе, которое въ нашемъ примѣрѣ всегда остается = 2 клгр.



фиг. 333.

b) Здѣсь нужно указать на различіе между жидкостями капельными и газообразными, предполагаемыми невѣсомыми. При первыхъ, если ни одинъ изъ поршней не движется, то вся система остается въ покоѣ; стѣнки сосуда, также какъ и всякая точка жидкой массы, не испытываетъ никакого давленія. Но при газахъ даже тогда, когда не дѣйствуемъ ни на какой изъ поршней, силы отталкиванія, проявляющіяся непрерывно между атомами газовъ и которыя называются ихъ напряженіемъ или ихъ упругою силою, стремятся вытолкнуть поршни внаружу съ усиліемъ, пропорціональнымъ ихъ площади. Подобно этому, всякая стѣнка тѣла, помѣщеннаго въ средѣ газа, постоянно претерпѣваетъ давленіе, пропорціональное ея величинѣ.

c) Давленіе жидкости, отнесенное къ единицѣ площади. Когда говорится о давленіи жидкости вообще, то относятъ это давленіе къ какой нибудь единицѣ площади. Обыкновенно за единицу площади берутъ квадратный сантиметръ.

Давленіе жидкости въ какой нибудь точкѣ стѣнокъ сосуда, ее заключающаго, есть то число килограммовъ, которое представляетъ силу, съ какою жидкость давитъ нормально на малую часть стѣнки, имѣющая площадь 1 квадр. сантиметръ, и приходящую чрезъ разсматриваемую точку. Точно также, давленіе въ какой либо точкѣ массы жидкости есть давленіе въ килогр., которое претерпѣвалъ бы маленькій кубикъ

нормально на всѣхъ своихъ сторонахъ, имѣющій 1 кв. сантим. въ каждой изъ нихъ и помѣщенный въ разсматриваемой точкѣ.

Если разсматривается газообразная масса небольшаго объема, то вслѣдствіе малой плотности газовъ, вѣсъ ея не принимается во вниманіе; и тогда законъ равенства давленій дѣлается практически примѣнимымъ. Тогда давленіе, отнесенное къ единицѣ площади, будучи одинаковое во всѣхъ точкахъ газообразной массы, выговаривается просто столько-то килограммовъ на квадр. сантиметръ не обозначая какой либо точки этой массы. Получается слѣдующее правило, примѣняемое очень часто, но вѣрное только въ томъ случаѣ, когда пренебрегаемъ дѣйствіемъ тяжести.

d) Вычисленіе полнаго давленія на данную площадь. Чтобы вычислить полное давленіе, которое газъ производитъ на данную площадь, нужно выразить эту площадь въ квадр. сантиметрахъ и помножить ее на давленіе газа, отнесенное къ этой же самой единицѣ.

Примѣръ. Найти полное давленіе на поршень діаметромъ въ 2,29 м., производимое паромъ, имѣющимъ напряженіе 1,32 клгр. на кв. стм.?

$$\text{Площадь поршня } F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3{,}14 \,.\, 2{,}29^2}{4} \cdot 10000 = 41187 \text{ кв. сантим.}$$

Давленіе на поршень $P = 41187, 1{,}32 = 54367$ килогр.

91. Измѣненіе закона равенства давленій въ случаѣ вѣсомыхъ жидкостей. Законъ равенства давленій примѣняется къ жидкостямъ и въ томъ случаѣ, когда онѣ подвержены дѣйствію силы тяжести. Но только нужно имѣть въ виду давленія, происходящія отъ этой послѣдней силы и также передающіяся во всѣ точки жидкой массы. Тогда законъ равенства давленій выговаривается такимъ образомъ:

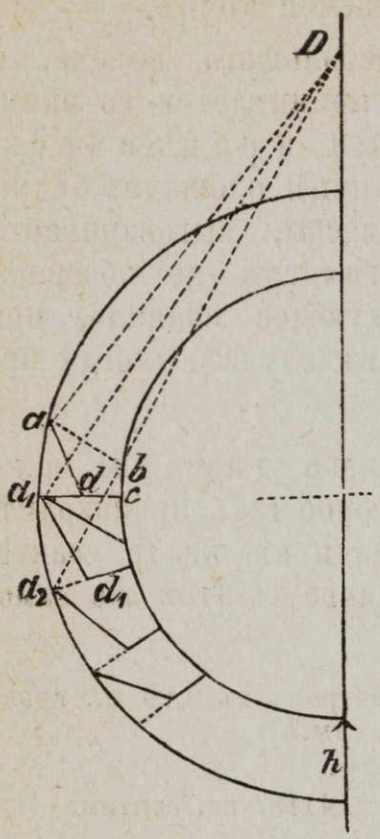
Во всякой вѣсомой жидкости: 1) давленіе въ какой нибудь точкѣ d, отнесенное къ единицѣ площади, одинаково по всѣмъ направленіямъ вокругъ этой точки; 2) оно равно давленію въ верхней точкѣ b, увеличенному на вѣсъ столба жидкости, имѣющаго своимъ основаніемъ единицу площади, а высотою вертикальное разстояніе bd между горизонтальными плоскостями, проведенными черезъ точки b и d; 3) полное давленіе на горизонтальную площадь произвольной величины, проходящую черезъ какую нибудь точку, всегда пропорціонально этой площади и давленію въ этой точкѣ, отнесенному къ единицѣ площади.

Отсюда слѣдуетъ, что если давленіе въ верхней точкѣ b равно нулю, то давленіе въ нижней точкѣ d будетъ равно вѣсу столба жидкости bd.

Поэтому, чтобы вычислить полное давленіе, производимое вѣсомою жидкостію на горизонтальную площадь, нужно выразить ее въ квадр. сантиметрахъ и помножить на давленіе въ одной изъ ея точекъ, отнесенное къ той же самой единицѣ. Это правило примѣнимо также въ случаѣ вертикальной или наклонной стѣнки, но только нужно для этого, чтобъ она имѣла высоту малую, которою можно пренебрегать въ сравненіи съ высотою всей массы жидкости, ею поддерживаемой.

92. Поверхность жидкаго тѣла. а) Если жидкость, подверженная дѣйствію какихъ нибудь силъ, находится въ покоѣ, то равнодѣйствую-

щая всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на какую нибудь часть жидкости, лежащую у поверхности, нормальна къ этой поверхности.



фиг. 334.

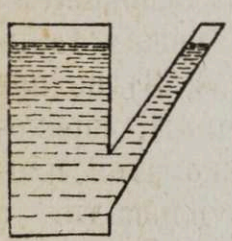
Поверхность воды, подверженной дѣйствію только одной тяжести, какъ нормальная къ направленію силъ тяжести, будетъ при малыхъ размѣрахъ горизонтальная плоскость (горизонта) а при большихъ размѣрахъ, когда вода разлита по значительной части земной поверхности, поверхность шара. Жидкость, подверженная дѣйствію только сцѣпленія между частицами, должна принимать форму шара. Если вода находится въ открытомъ сосудѣ, то частицы ея поверхности, лежащія около стѣнокъ сосуда, кромѣ силъ тяжести, подвержены еще притяженію стѣнокъ сосуда; равнодѣйствующая этихъ силъ не будетъ вертикальна, а потому свободная поверхность жидкости около стѣнокъ сосуда не будетъ горизонтальная.

b) Поверхность жидкости, заключающейся въ сосудѣ, который вращается около вертикальной оси, имѣетъ видъ параболоида вращенія.

c) Если сосудъ (напримѣръ ковшъ водянаго колеса) вращается около горизонтальной оси, то поверхность жидкости есть горизонтальный круглый цилиндръ, ось коего находится надъ осью вращенія на разстояніи $= g : \varphi^2$, гдѣ φ угловая скорость вращенія (фиг. 301).

93. Давленіе воды, подверженной дѣйствію тяжести. I. Если масса воды, подверженной дѣйствію силы тяжести, находится въ покоѣ, то давленіе ея одинаково во всѣхъ точкахъ, лежащихъ на одной глубинѣ подъ горизонтомъ; оно будетъ тѣмъ больше, чѣмъ глубже лежитъ разсматриваемая площадь подъ горизонтомъ; оно не зависитъ отъ количества давящей воды.

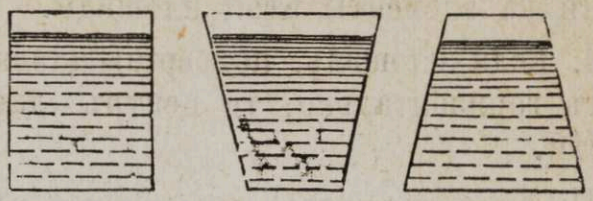
II. Если два сосуда, наполненные одинаковою (фиг. 335) жидкостію, сообщаются между собою, то въ состояніи покоя жидкость въ обоихъ сосудахъ будетъ стоять на одной высотѣ. Если въ сообщающихся сосудахъ налиты двѣ жидкости различныхъ плотностей, не смѣшивающіяся между собою, то высоты ихъ надъ горизонтальною плоскостію соприкосновенія будутъ обратно пропорціональны ихъ плотностямъ. Напримѣръ, если въ изогнутую трубку налить въ одно колѣно ртути, а въ другое воды, то столбъ ртути будетъ въ столько разъ менѣе столба воды, во сколько разъ ртуть тяжелѣе воды а именно въ 13,59 разъ; такъ что столбъ ртути въ 76 сантиметровъ или 29,9 дюймовъ высотою можетъ уравновѣшивать столбъ воды высотою въ $29,9 \cdot 13,5 = 406,34$ дюйм. $= 33,86$ ф. (или $76 \cdot 13,59 = 1032,84$ сантиметр. $= 10,33$ метр.).



фиг. 335.

III. Давленіе воды на дно. Давленіе жидкости на дно сосуда равно вѣсу водянаго столба, коего основаніе есть дно сосуда, а высота равняется разстоянію этого дна отъ уровня воды. При этомъ безразлично — остается ли сѣченіе сосуда одинаковое снизу до верху, расширяется или съуживается; если сосудъ цилиндрическій (фиг. 336),

то давленіе на дно равняется вѣсу воды, наполняющей его, если сосудъ расширяется къ верху (фиг. 337), то давленіе на дно его меньше вѣса всей воды въ сосудѣ, если же онъ съуживается къ верху, то больше (фиг. 338).



фиг. 336—338.

Правило. Умножь площадь дна на высоту напора и еще на число 1000; произведеніе будетъ давленіе на дно сосуда въ килограммахъ.

Примѣръ. Какъ велико давленіе воды на дно резервуара, если площадь дна = = 4,5 кв. м., а глубина воды = 2 м.

Объемъ водянаго столба, вертикальнаго надъ дномъ . . 4,5,2 = 9 куб. м.

Вѣсъ этого столба или давленіе на дно . . . . . 1000 . 9 = 9000 килогр.

ибо вѣсъ 1 куб. м. воды = 1000 клгр. Если размѣры сосуда даны въ футахъ или въ дюймахъ, надобно вмѣсто числа 1000 брать число 69,29 или 0,04; давленіе получится въ обоихъ случаяхъ въ фунтахъ.

IV. Давленіе на плоскую стѣнку сосуда, которое дѣйствуетъ перпендикулярно къ этой стѣнкѣ (нормальное давленіе), будетъ ли эта стѣнка вертикальная или наклонная, равняется вѣсу прямой водянаго столба, котораго основаніе есть эта стѣнка, а высота равна вертикальному разстоянію центра тяжести стѣнки отъ уровня воды. Это разстояніе центра тяжести отъ уровня обыкновенно называется высотою давленія или напоромъ.

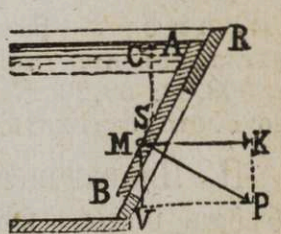
Правило. Умножь боковую площадь сосуда на разстояніе отъ ея центра до горизонта и еще на число 1000; произведеніе будетъ давленіе на эту боковую площадь въ килогр.

Примѣръ. Какъ велико давленіе на прямоугольныя шлюзныя ворота шириною 5 метр., которыя погружены въ воду на 2,2 м. и какое давленіе претерпѣваетъ прямоугольный ставень въ этихъ воротахъ, котораго площадь = 4 кв. м., а разстояніе центра тяжести отъ дна = 0,3 м.?

Давленіе на шлюзныя ворота 1000 . 5 .2,2 . 1,1 = 12100 клгр.
Разстояніе центра тяжести ставня отъ уровня 2,2—0,3=1,9 метр.
Слѣдовательно давленіе на ставень 1000 . 0,4 . 1,9= 760 клгр.

Примѣчаніе. Вертикальное или наклонное положеніе ставня не имѣетъ вліянія на давленіе .

V. Пусть P въ клгр. нормальное давленіе на площадь F въ кв. м.; γ вѣсъ единицы объема жидкости (при водѣ для 1 куб. м. $\gamma = 1000$ клгр.) и h въ м. высота столба жидкости надъ дномъ сосуда или же надъ центромъ тяжести S площади AB боковой стѣнки (ф. 339), то $P = \gamma F h$.



фиг. 339.

VI. Чтобы получить давленіе на произвольный элементъ плоской стѣнки сосуда по какому-нибудь направленію, нужно найти проэкцію этого элемента на плоскость, перпендикулярную къ этому направленію, и тогда площадь этой проэкціи помножить на высоту давленія.

VII. Давленіе по произвольному направленію на кривую стѣнку сосуда равно давленію водянаго столба, имѣющаго основаніемъ проэкцію кривой поверхности (или стѣнки) на плоскость, перпендикулярную къ направленію давленія, а высотою высоту давленія кривой стѣнки.

94. Центръ давленія. I. Центръ давленія жидкости на площадь есть точка приложенія равнодѣйствующей нормальныхъ давленій жидкости на элементы этой площади.

II. Если площадь, подвергающаяся давленію тяжелой жидкости, лежитъ горизонтально, то центръ давленій совпадаетъ съ центромъ тяжести.

III. Если площадь не горизонтальна, то центръ давленій лежитъ ниже центра тяжести. Разстояніе z центра давленій отъ линіи пересѣченія плоскости съ горизонтомъ жидкости равно отношенію момента инерціи площади, взятаго относительно этой линіи, къ статическому моменту площади относительно той же линіи; или $Z = Fk^2 : Fs$; такъ напримѣръ для прямоугольника, одна сторона коего лежитъ въ уровнѣ воды, $z = {}^1/_3 Fa^2 : {}^1/_2 Fa = {}^2/_3 a$, т. е. $^2/_3$ высоты смачиваемой стѣнки.

95. Тѣла, погруженныя въ жидкость. I. Всякое тѣло, погруженное въ жидкость вполнѣ или частію, претерпѣваетъ вертикальное давленіе снизу вверхъ, которое называется силою выпиранія воды; величина A этой силы выпиранія равна вѣсу G_1 вытѣсненной жидкости, т. е. равна произведенію объема V погруженной части тѣла на плотность γ жидкости: $A = G_1 = V\gamma$. Точка приложенія этой силы выпиранія находится въ центрѣ тяжести вытѣсненной жидкости.

II. Тѣло, совершенно погруженное въ жидкость, теряетъ столько своего вѣса, сколько вѣситъ масса жидкости, равная ему по объему. Этотъ законъ извѣстенъ подъ названіемъ закона Архимеда.

Если эта масса жидкости тяжелѣе тѣла, то разность ея вѣса и вѣса тѣла будетъ сила выпиранія, съ которою тѣло стремится подняться изъ воды. Отношеніе между вѣсомъ тѣла и вѣсомъ того же объема воды называется удѣльнымъ вѣсомъ. Пусть G абсолютный вѣсъ тѣла, G_1 сила выпиранія; γ плотность жидкости; γ_1 плотность тѣла, то имѣемъ удѣльный вѣсъ тѣла

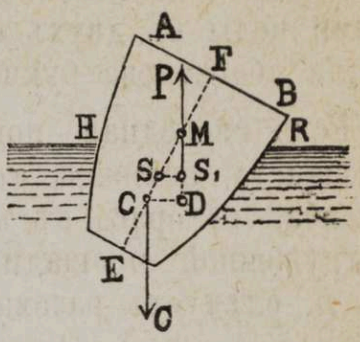
$$\xi = \frac{\gamma_1}{\gamma} = \frac{G}{G_1} = \frac{\text{абсолютный вѣсъ тѣла}}{\text{вѣсъ вытѣсненной воды}}.$$ На этой формулѣ основано употребленіе ареометра для опредѣленія плотности жидкостей.

Примѣръ. Вѣсъ γ_1 кубическаго фута чугуна равенъ 508,8 фунт. Въ водѣ онъ будетъ вѣситъ только: 508,8 — 69,29 = 439,51 фунт. Удѣльный вѣсъ чугуна $\xi = 508{,}8 : 69{,}29 = 7{,}34$. Точно также ($U = G : \gamma$) можно найти объемъ тѣла, если его вѣсъ раздѣлить на удѣльный вѣсъ и на плотность воды (т. е. на число 69,29).

III. Плавающее и находящееся въ равновѣсіи тѣло вытѣсняетъ собою объемъ воды, вѣсъ которой равенъ вѣсу всего тѣла; и кромѣ того центръ тяжести объема вытѣсненной воды лежитъ на одной вертикальной линіи съ центромъ тяжести тѣла. Равновѣсіе плавающаго тѣла м. б. устойчивое, неустойчивое и безразличное.

96. Устойчивость плавающихъ тѣлъ. Если тѣло, частію погруженное въ воду, не имѣетъ однообразной плотности, т. е. если центръ тяжести погруженной части тѣла не совпадаетъ съ центромъ тяжести вытѣсненной воды, и если это тѣло посредствомъ нѣкоторой силы будетъ выведено изъ первоначальнаго отвѣснаго положенія равновѣсія въ новое наклонное положеніе, то происходитъ вращеніе около горизонтальной

оси, проходящей черезъ центръ тяжести S. Плавающее тѣло находится въ устойчивомъ положеніи, когда его метацентръ, т. е. точка пересѣченія направленія силы выпиранія съ среднею линіею тѣла, лежитъ выше центра тяжести тѣла. Разстояніе между этими точками даетъ мѣру устойчивости (фиг. 340).



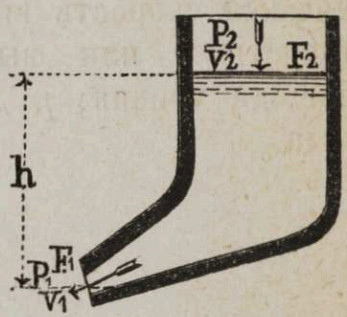
фиг. 340.

Пусть b ширина тѣла въ уровнѣ воды; F площадь погруженнаго сѣченія и e разстояніе центра тяжести S вытѣсненной воды отъ центра тяжести C тѣла, то $c = \frac{b^3}{12F} + e$; и устойчивость тѣла при углѣ отклоненія φ будетъ: $s = \left(\frac{b^3}{12F} + e\right) G\varphi$.

2. Гидродинамика.

т. е. ученіе о движеніи капельныхъ жидкостей.

97. Предположенія, на которыхъ основывается теорія движенія жидкостей. Для облегченія теоретическаго рѣшенія вопросовъ о движеніи жидкостей, кромѣ предположенія о совершенной подвижности всѣхъ частицъ жидкости, принимаются еще слѣдующія:



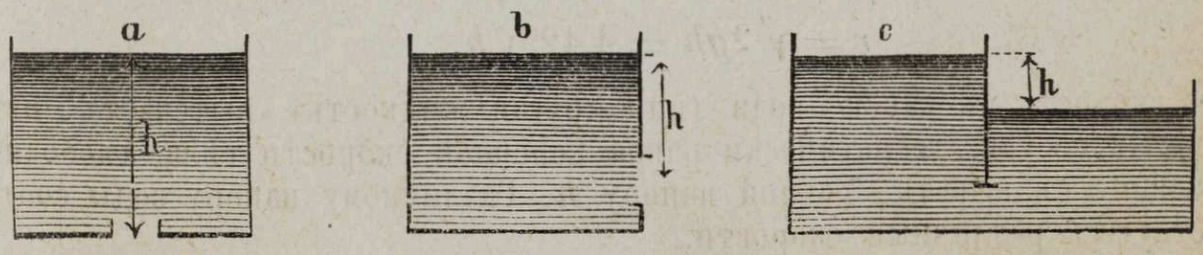
фиг. 341.

a) Частицы жидкости, лежащія въ одномъ сѣченіи, нормальномъ къ оси сосуда, имѣютъ одинаковыя скорости; это предположеніе есть т. н. гипотеза нормальности слоевъ.

b) При движеніи жидкостей связь между ея частицами не нарушается, т. е. жидкость движется непрерывною массою; это предположеніе есть т. н. гипотеза непрерывности жидкой массы.

Слѣдствіе. Пусть F и f площади двухъ сѣченій сосуда, нормальныхъ къ его оси, V и v скорости воды въ этихъ сѣченіяхъ; тогда $FV = fv$ или $V : v = f : F$, т. е. скорости обратно пропорціональны площадямъ поперечныхъ сѣченій.

98. Высота давленія или напоръ. Если въ днѣ или въ стѣнкѣ сосуда съ водою сдѣлать отверстіе, то вода будетъ вытекать изъ него какъ вслѣдствіе собственнаго вѣса, такъ и вслѣдствіе вѣса или давленія слоевъ воды, лежащихъ надъ отверстіемъ. Разстояніе центра тяжести (средины) отверстія отъ свободной поверхности (уровня) воды называется высотою давленія или напоромъ. Если этимъ отверстіемъ



фиг. 342—344.

сосудъ сообщается съ другимъ сосудомъ, также наполненнымъ водою, то высотою давленія называется вертикальное разстояніе между уровнями воды въ двухъ сосудахъ. На приложенныхъ чертежахъ высота давленія обозначена буквою h (фиг. 342—344).

Если свободная поверхность воды подвержена еще какому нибудь внѣшнему давленію, то этому давленію соотвѣтствуетъ высота водянаго столба, котораго вѣсъ равняется этому давленію, а основаніе равно нагруженной площади. Тогда высоту этого столба воды, увеличенную на h, слѣдуетъ разсматривать какъ высоту давленія.

Примѣръ. Если вода, на поверхность которой производится, напримѣръ, давленіе въ 1.5 атмосферы, вытекаетъ въ пространство, въ которомъ господствуетъ давленіе въ 0,6 атм., то разность этихъ давленій $=$ 0,9 атм. Но высота водянаго столба, производящаго давленіе въ 1 атм., $=$ 10,33 м; слѣдовательно высота водянаго столба въ 0,9 атм. $=$ 0,9 . 10,33 $=$ 9,297 м. Поэтому высота давленія въ этомъ случаѣ $= h +$ 9,297 м.

99. Теоретическія величины скорости истеченія и истекающаго количества жидкости при постоянномъ давленіи. 1. Сквозь горизонтальную стѣнку. *a*. Обозначимъ: F площадь верхней поверхности или уровня жидкости въ кв. м.; V скорость воды въ этомъ уровнѣ въ метр.; f площадь отверстія истеченія въ кв. м.; v теоретическая скорость вытекающей жидкости въ м.; h напоръ (въ м.) надъ отверстіемъ или высота давленія жидкости; P давленіе на единицу площади уровня; p давленіе снаружи на единицу площади отверстія; тогда

$$v = \sqrt{\frac{2g\left(h + \frac{P-p}{\gamma}\right)}{1 - \frac{f^2}{F^2}}}.$$

Здѣсь $\frac{P}{\gamma}$ и $\frac{p}{\gamma}$ суть высоты водяныхъ стобовъ, измѣряющихъ давленія P и p.

b. Если площадь отверстія f весьма мала сравнительно съ F, то пренебрегая отношеніемъ $f^2 : F^2$ передъ единицею, получимъ скорость истеченія:

$$v = \sqrt{2g\left(h + \frac{P-p}{\gamma}\right)}.$$

c. Если поверхность уровня подвержена давленію атмосферы и вытеканіе жидкости имѣетъ мѣсто въ воздухѣ, то $P = p$ и

$$v = \sqrt{2gh} = 4{,}429\sqrt{h},$$

т. е. скорость съ какою вода (или другая жидкость) вытекаетъ изъ отверстія сосуда, теоретически равна конечной скорости тѣла, свободно падающаго съ высоты, равной напору h. Различному напору воды соотвѣтствуютъ различныя скорости.

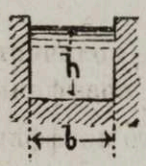
Правило 1. Умножь корень квадратный изъ высоты напора въ метр. на число 4,43; получится теоретическая скорость истеченія въ метрахъ въ секунду.

d. Скорости истеченія v, вычисленной по предъидущимъ формуламъ, соотвѣтствуетъ при площади отверстія f вытекающее въ секунду количество воды $Q_1 = fv = f\sqrt{2gh} = 4{,}429f\sqrt{h}$.

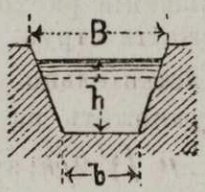
Правило 2. Умножь площадь отверстія въ кв. м. на скорость въ м.; произведеніе будетъ количество вытекающей воды въ секунду въ куб. метр.

Эти формулы, строго говоря, вѣрны только въ томъ случаѣ, когда отверстіе очень узко и когда оно находится въ горизонтальномъ днѣ сосуда (случай *a* на предъидущ. фиг. 342—344), когда для всѣхъ точекъ отверстія имѣется одинаковая высота давленія и слѣдовательно и одинаковая скорость въ всѣхъ мѣстахъ. Въ противномъ случаѣ получаются другія формулы.

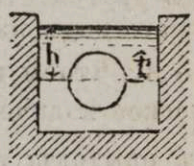
II. Сквозь вертикальную стѣнку. Въ случаѣ *b* для различныхъ точекъ отверстія имѣются разные напоры, слѣдов. разныя скорости. Если высота боковаго отверстія не велика, то скорости разнятся одна отъ другой немного и тогда ту скорость, которая находится въ центрѣ тяжести отверстія, можно разсматривать какъ среднюю. При этомъ для отверстій различной формы, продѣланныхъ въ вертикальной стѣнкѣ, имѣемъ слѣдующія формулы:



фиг. 345.



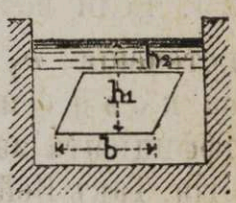
фиг. 346.



фиг 347.

$$v = \frac{2}{3}\sqrt{2gh}\,;\; Q = \frac{2}{3}bh\sqrt{2gh} \;\ldots\; \text{при фиг. 345.}$$

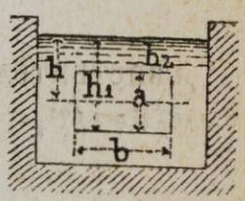
$$v = \frac{4}{15}\,\frac{2B+3b}{b+B}\sqrt{2gh} \;\ldots\ldots\; \text{при фиг. 346.}$$



фиг. 348.

$$v = \sqrt{2gh}\left[1 - \frac{1}{32}\left(\frac{r}{h}\right)^2 - \frac{5}{1024}\left(\frac{r}{h}\right)^4\right] \text{ при ф. 347.}$$

$$v = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\,\frac{h_1^{3/2} - h_2^{3/2}}{h_1 - h_2} \;\ldots\ldots\; \text{при фиг. 348.}$$



фиг. 349.

$$v = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\,\frac{h_1^{3/2} - h_2^{3/2}}{h_1 - h_2}$$ или приблизительно, если высота отверстія $h_1 - h_2 = a$ и средній напоръ $(h_1 + h_2) : 2 = h$, получимъ:

$$v = \left[1 - \frac{1}{96}\left(\frac{a}{h}\right)^2\right]\sqrt{2gh}$$ при фиг. 349 (прямоугольное отверстіе).

Правила. Среднія скорости умножь на площадь отверстія: получится количество вытекающей воды.

Предъидущія формулы предполагаютъ спокойное состояніе воды въ сосудѣ. Но въ дѣйствительности вода подходитъ къ отверстію уже съ нѣкоторою скоростію c, которая увеличиваетъ скорость вытекающей

воды; напоръ $\frac{c^2}{2g} = k$, соотвѣтствующій этой скорости, или скоростной напоръ слѣдуетъ прибавить къ имѣющемуся напору и тогда полная высота давленія будетъ $h + \frac{c^2}{2g} = h + k$. Количество воды будетъ:

$Q = {}^2/_3 b\sqrt{2g}[(h_1 + k)^{3/2} - (h + k)^{3/2}]$ для прямоугольнаго отверстія (фиг. 349).

$Q = {}^2/_3 b\sqrt{2g}[(h_1 + k)^{3/2} - k^{3/2}]$ . . . для водослива (фиг. 345).

III. При истеченіи подъ водою (случай *c*) вытеканіе происходитъ съ одинаковою скоростію во всѣхъ точкахъ отверстія и напоръ равенъ разстоянію между уровнями воды. Поэтому $Q = f\sqrt{2gh} = 4{,}429f\sqrt{h}$.

100. Количество вытекающей жидкости при постоянномъ напорѣ. **Количество воды**, Q, дѣйствительно вытекающей изъ сосуда въ 1 сек. назыв. расходомъ воды, и бываетъ всегда меньше теоретическаго Q_1.

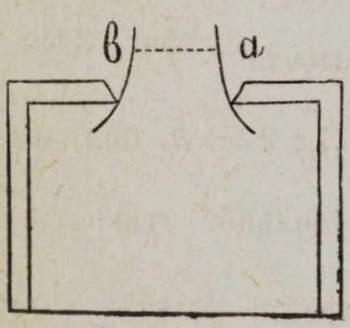
Уменьшеніе теоретическаго количества истекающей жидкости зависитъ отъ того-что съ одной стороны вслѣдствіе тренія жидкости объ края отверстія. скорость воды у стѣнокъ отверстія меньше чѣмъ посереди нѣ его, такъ что частицы воды въ отверстіи необходимо имѣютъ различные скорости и средняя скорость меньше теоретической; съ другой стороны уменьшеніе расхода воды зависитъ отъ особаго явленія, извѣстнаго подъ названіемъ сжатія струи.

Правило 3. Чтобы получить дѣйствительное вытекающее количество воды, должно теоретическое количество воды умножить на нѣкоторый коэффиціентъ μ, опредѣляемый изъ опытовъ; такъ что $Q = \mu f\sqrt{2gh}$; значеніе этого коэффиціента μ слѣдующее.

а) Хорошо округленныя и гладкія отверстія истока. Если вода вытекаетъ безъ сжатія, то, дѣйствительная скорость истеченія v_1 (средняя) равна теоретической $v = \sqrt{2gh}$ помноженной на коэффиціентъ скорости φ или $v_1 = \varphi v$. Величина этого коэффиціента измѣняется съ напоромъ воды и свойствами контура отверстія. Такъ Вейсбахъ нашелъ, что при совершенно гладкихъ ребрахъ отверстія, при напорахъ= 0,3 м.; 1, 5 м.; 3 м.; 117 м.

$$\varphi = \frac{v_1}{v} = 0{,}968;\quad 0{,}969;\quad 0{,}975;\quad 0{,}988.$$

Дѣйствительно вытекающее количество воды будетъ только $Q = \mu Q_1 = \mu fv = fv_1 = \varphi fv$. Поэтому для этихъ отверстій $\mu = \varphi = 0{,}96$ до $0{,}98$.



фиг. 350.

б. Отверстія въ тонкой стѣнкѣ. (фиг. 350). Частицы жидкости, приближаясь къ отверстію, двигаются по кривымъ линіямъ сходящимся, такъ, что струя жидкости проходя отверстіе постепенно съужается. Это сжатіе струи продолжается и по выходѣ ея изъ отверстія. Наибольшее сжатіе струи имѣетъ мѣсто уже по выходѣ жидкости изъ отверстія. Отношеніе α площади f_1 поперечнаго сѣченія струи въ мѣстѣ ея наибольшаго сжатія къ площади отверстія f называется коэффиціентомъ сжатія $\left(\alpha = \frac{f_1}{f}\right)$

Сжатіе струи зависитъ отъ весьма многихъ обстоятельствъ, и еще далеко не вполнѣ изслѣдовано. Если сжатіе происходитъ вдоль всей окружности отверстія, то оно называется полнымъ. Чтобы оно было полное, края отверстія д. б. удалены отъ ближайшаго дна или отъ стѣнокъ сосуда по кр. м. на $1 - 1^1/_2$ ихъ наименьшихъ размѣровъ.

Судя по опытамъ Вейсбахъ, для круглаго отверстія можно принимать среднимъ числомъ $\alpha = 0{,}64$ (т. е. что сѣченіе струи воды, которая вытекаетъ, относится къ сѣченію отверс ія какъ 0,64 къ 1) и разстояніе сжатаго сѣченія отъ отверстія равно половинѣ діаметра послѣдняго.

Если происходитъ сжатіе и если $v = \sqrt{2gh}$ выражаетъ дѣйствительную среднюю скорость истеченія, то расходъ $Q = \alpha f v = \mu f v$; $\mu = \alpha$. Въ этомъ случаѣ коэффиціентъ μ, на который надо умножить теоретическое количество воды для полученія дѣйствительнаго, обозначаетъ отношеніе сѣченія струи въ мѣстѣ наибольшаго сжатія къ площади отверстія и называется коэффиціентъ сжатія.

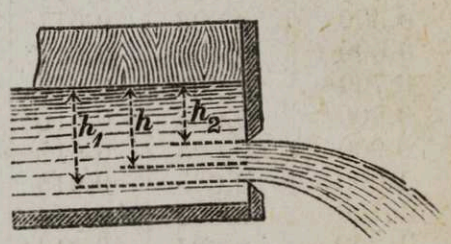
с. Если вода выходитъ съ сжатіемъ и если $v = \sqrt{2gh}$ не выражаетъ дѣйствительную среднюю скорость, то $Q = \alpha f . \varphi v = \mu f v$ и $\mu = \alpha f$, коэффиціентъ μ обозначаетъ произведеніе изъ коэффиціентовъ сжатія и скорости и въ этомъ случаѣ можетъ быть названъ коэффиціентомъ расхода.

Если считать коэфф. скорости среднимъ числомъ $= 0{,}964$, то средняя величина коэффиціента расхода будетъ:

$$\mu = 0{,}64 \times 0{,}964 = 0{,}617.$$

т. е. дѣйствительно истекающее количество воды составляетъ только 61,7 % теоретическаго $f\sqrt{2gh}$.

100. Истеченіе чрезъ отверстіе въ вертикальной стѣнкѣ. α) При полномъ и совершенномъ сжатіи. Расходъ воды $Q = \mu f \sqrt{2hg}$ $\mu b\,(h - h_2)\sqrt{2hg}$. Слѣдующая таблица Понслэ и Лебро содержитъ величины μ для прямоугольныхъ отверстій въ вертикальной тонкой стѣнкѣ при истеченіи въ свободный воздухъ, если высота давленія h_2 или высота воды надъ верхнимъ краемъ отверстій измѣрена въ такомъ разстояніи отъ отверстія (не менѣе 1 метра), гдѣ незамѣтно пониженіе уровня, слѣдов. не прямо надъ отверстіемъ.



фиг. 351.

Величины этой таблицы остаются однѣ и тѣже, какую-бы сторону прямоугольника ни приняли за высоту, если только большій размѣръ превосходитъ меньшій не болѣе, чѣмъ въ 20 разъ (Лебро). По Вейсбаху этиже величины годны для круглыхъ и по Гашетту для всякихъ отверстій, не содержащихъ выступающихъ угловъ.

Примѣръ 1. Въ вертикальной стѣнкѣ сосуда имѣется прямоугольное отверстіе длиною 0,6 метра и высотою 0,2 м., верхнее ребро коего находится на 1,2 метра ниже уровня. Сколько воды вытекаетъ изъ резервуара въ секунду.

Средній напоръ воды . . . . . $= 1{,}2 + 0{,}5 . 0{,}20 = 1{,}3$ метра.

По правилу теоретическая скорость . . . . $= 4{,}43\sqrt{1{,}3} = 5{,}050$ м.

Площадь отверстія . . . . . $= b\,(h_1 - h_2) = 0{,}6 . 0{,}2 = 0{,}12$ кв. м.

Теоретическое количество воды (по правилу 2) $= 0{,}12 . 5{,}05 = 0{,}606$ куб. м.

Коэффиціентъ расхода при разстояніи 1,2 м. верхняго ребра.

Таблица коэффиціентовъ расхода воды при истеченіи ея черезъ прямоугольныя отверстія въ тонкой стѣнкѣ, составленная инженерами Понслэ и Лебро.

Напоръ воды или высота h_2 отъ верхн. ребра отверстія до гориз. воды.	Высота отверстія $h_1 — h_2$ въ метрахъ.							
	При ширинѣ отверстія = 0,2 метра.						При ширинѣ отв. = 0,6 метр.	
	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	0,20	0,02
0,000	—	—	—	—	—	—	—	—
0,005	—	—	—	—	—	0,705	—	—
0,010	—	—	0,607	0,630	0,660	0,701	—	0,644
0,015	—	0,593	0,621	0,632	0,660	0,697	—	0,644
0,020	0,572	0,596	0,615	0,634	0,659	0,694	—	0,643
0,030	0,578	0,600	0,620	0,638	0,659	0,688	0,593	0,642
0,040	0,582	0,603	0,623	0,640	0,658	0,683	0,595	0,642
0,050	0,585	0,605	0,625	0,640	0,658	0,679	0,597	0,641
0,060	0,587	0,607	0,627	0,640	0,657	0,676	0,599	0,641
0,070	0,588	0,609	0,628	0,639	0,656	0,673	0,600	0,640
0,080	0,589	0,610	0,629	0,638	0,656	0,670	0,601	0,640
0,090	0,591	0,610	0,629	0,637	0,655	0,668	0,601	0,639
0,100	0,592	0,611	0,630	0,637	0,654	0,666	0,602	0,639
0,120	0,593	0,612	0,630	0,636	0,653	0,663	0,603	0,638
0,140	0,595	0,613	0,630	0,635	0,651	0,660	0,603	0,637
0,160	0,596	0,614	0,631	0,634	0,650	0,658	0,604	0,637
0,180	0,597	0,615	0,630	0,634	0,649	0,657	0,605	0,636
0,200	0,598	0,615	0,630	0,633	0,648	0,655	0,605	0,635
0,250	0,599	0,616	0,630	0,632	0,646	0,653	0,606	0,634
0,300	0,600	0,616	0,629	0,632	0,644	0,650	0,607	0,633
0,400	0,602	0, 17	0,628	0,631	0,642	0,647	0,607	0,631
0,500	0,603	0,617	0,628	0,630	0,640	0,644	0,607	0,630
0,600	0,604	0,617	0,627	0,630	0,638	0,642	0,607	0,629
0,700	0,604	0,616	0,627	0,629	0,637	0,640	0,607	0,628
0,800	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637	0,606	0,628
0,900	0,605	0,615	0,626	0,628	0,634	0,635	0,606	0,627
1,000	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632	0,605	0,626
1,100	0,604	0,614	0,625	0,627	0,631	0,629	0,604	0,626
1,200	0,604	0,614	0,624	0,626	0,628	0,626	0,604	0,625
1,300	0,603	0,613	0,622	0,624	0,625	0,622	0,603	0,624
1,400	0,603	0,612	0,621	0,622	0,622	0,618	0,603	0,624
1,500	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615	0,602	0,623
1,600	0,602	0,611	0,618	0,618	0,617	0,613	0,602	0,623
1,700	0,602	0,610	0,617	0,616	0,615	0,612	0,602	0,622
1,800	0,601	0,609	0,615	0,615	0,614	0,612	0,602	0,621
1,900	0,601	0,608	0,614	0,613	0,612	0,611	0,602	0,621
2,000	0,601	0,607	0,613	0,612	0,612	0,611	0,602	0,620
3,000	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609	0,601	0,615

Отверстія до уровня и при высотѣ отверстія

0,2 м. будетъ . . . . . = 0,604.

Расходъ воды (по правилу 3). . . . . = 0,604 . 0,606 = 0,366 куб. м.

Примѣръ 2. Въ шлюзныхъ воротахъ находится ставень длиною 1,3 метра и шириною 0,21, м., центръ котораго лежитъ на 3 м. подъ поверхностію воды. Сколько нужно времени для того, чтобы вытекло изъ этого отверстія 18 куб. метр. воды?

Коэффиціентъ расхода здѣсь (по таблицѣ) . . . . . = 0,601.

Расходъ воды $Q = 0{,}601 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}21 \cdot 4{,}43 \sqrt{3}$ . . . = 1,259 куб. метр.

Время истеченія для 18 куб. метровъ . . . 18 : 1,259 = 14,3 секунды.

Примѣръ 3. Если ширина отверстія $b = 0{,}25$ м.; высота его $h_1 - h_2 = 0{,}15$ м., а напоръ воды $h_2 = 0{,}045$ м., то будетъ средній напоръ $h = 0{,}045 + 0{,}075 = 12$ м., а теоретическое количество воды:

$$Q_1 = 0{,}25 \cdot 0{,}15 \cdot 4{,}43 \sqrt{0{,}12} = 0{,}166 \cdot 0{,}3464 = 0{,}0575 \text{ куб. метр.}$$

Высотѣ отверстія 0,15 м. при напорѣ $h_2 = 0{,}040$ м. соотвѣтствуетъ средняя величина коэффиціента расхода:

$$\mu_1 = \frac{0{,}582 + 0{,}603}{2} = 0{,}5925.$$

а при напорѣ $h_2 = 0{,}050$ м.

$$\mu_1 = \frac{0{,}585 + 0{,}605}{2} = 0{,}595;$$

то при промежуточномъ напорѣ $h_2 = 0{,}045$ м. коэффиціентъ расхода будетъ:

$$\frac{0{,}5925 + 0{,}5950}{2} = 0{,}594.$$

Слѣдовательно искомый расходъ воды:

$$Q = 0{,}594 \cdot 0{,}0575 = 0{,}03415 \text{ куб. метра.}$$

β) Сжатіе называется неполнымъ или частнымъ, когда отверстіе въ стѣнкѣ или въ днѣ сосуда длиною u своего периметра p примыкаетъ къ стѣнкамъ сосуда; (т. е. когда одна, двѣ или стороны отверстія образуютъ прямолинейное продолженіе плоскостей сосуда) тогда частицы воды, идущія вдоль стѣнокъ, направляются ими и приближаются къ отверстію, двигаясь параллельно одна другой.

1) Опыты Бидона показали, что коэф. расхода μ' для круглаго отверстія

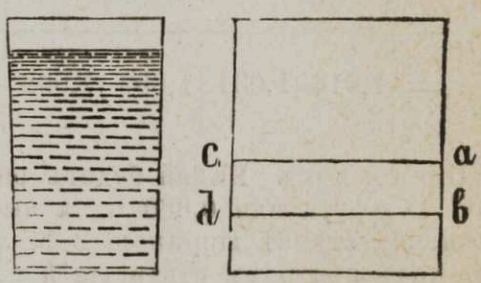
$$\mu' = \left(1 + 0{,}128 \frac{u}{p}\right)\mu$$

гдѣ μ есть коэф. расхода для полнаго сжатія.

2) Для прямоугольныхъ отверстій, которыя въ практикѣ употребляются почти исключительно, Вейсбахъ нашелъ, что

$$\mu' = \left(1 + 0{,}155 \frac{u}{p}\right)\mu$$

притомъ оказалось, что въ этомъ случаѣ струя отклоняется на $7^0 - 9^0$ въ ту сторону, гдѣ сжатіе уничтожено.



фиг. 352—353.

Примѣръ 1. Пусть длиннаго прямоугольнаго отверстія 2 м., его высота 0,3 м.; коэффиціентъ расхода для полнаго сжатія 0,63 и вдоль двухъ вертикальныхъ краевъ отверстія сжатія нѣтъ, тогда окружность всего отверстія $p = 2.2 + 2.0{,}3 = 4{,}6$ метра.

Два вертикальные края . . . . . $u = 2.0{,}3$ . . . 0,6 „

Отношеніе $\frac{u}{p} = \frac{0{,}6}{4{,}6} = 0{,}13$ и коэффиціентъ расхода $\mu' = 0{,}63(1 + 0{,}155.0{,}13) = 0{,}646$.

Примѣръ 2. Какъ великъ расходъ воды черезъ щитовое отверстіе шириною 3 фута или 0,9 м., высотою 10 дюйм. или 0,250 м. при напорѣ на верхнее ребро отверстія въ $1\frac{1}{2}$ фута или 0,46 м., когда отверстіе снизу ограничивается днемъ, такъ что съ этой стороны сжатіе уничтожено?

Теоретическое количество воды будетъ по правиламъ 2 и 1:

$$Q = 0{,}9 \,.\, 0{,}250 \,.\, 4{,}43\sqrt{0{,}46 + 0{,}125} = 0{,}225 \,.\, 3{,}39 = 0{,}76 \text{ куб. м.}$$

По таблицѣ Понсле и Лебро для полнаго сжатія коэффиціентъ расхода $\mu = 0{,}604$; но въ настоящемъ случаѣ:

$$\frac{u}{p} = \frac{0{,}9}{2(0{,}9+0{,}25)} = \frac{0{,}9}{1{,}8 + 0{,}5} = \frac{0{,}9}{2{,}3} = 0{,}39.$$

Слѣдовательно $\mu' = (1 + 0{,}155 \,.\, 0{,}39)\ 0{,}604 = 1{,}060 . 0{,}64 = 0{,}640$.

Поэтому дѣйствительный расходъ воды

$$Q = 0{,}640 . Q_1 = 0{,}640 . 0{,}76 = 0{,}4864 \text{ куб. метр.}$$

γ) Сжатіе называется несовершеннымъ, когда вода притекаетъ къ отверстію съ замѣтною скоростью. Опыты Вейсбаха показали, что въ этомъ случаѣ сжатіе зависитъ отъ отношенія площади отверстія f къ площади дна a; именно коэфф. расхода для несовершеннаго сжатія μ''.

1) для круглыхъ отверстій:

$$\mu'' = [1 + 0{,}04564\ (14{,}821^n - 1)]\ \mu$$

2) для прямоугольныхъ

$$\mu'' = [1 + 0{,}076\ (9^n - 1)]\ \mu, \text{ гдѣ } n = \frac{f}{a}.$$

въ обѣихъ формулахъ μ есть коэфф. расхода для полнаго сжатія.

Таблица дающая отношеніе между коэффиціентами расхода при несовершенномъ сжатіи и при совершенномъ для истеченія съ сжатіемъ полнымъ и несовершеннымъ.

$$n = \frac{f}{a} = \frac{\text{площадь отверстія}}{\text{сѣченіе потока подходящей воды}}.$$

$n =$	0,1	0,2	0,3	0 4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
$\frac{\mu''}{\mu} =$	1,019	1,042	1,071	1,107	1,152	1,208	1,278	1,365	1,473	1,608	Для прямоугольныхъ отверстій.
$\frac{\mu''}{\mu} =$	1,014	1,034	1,059	1,092	1,134	1,189	1,260	1,351	1,471	1,613	Для круглыхъ отверстій.

Примѣръ. Какой будетъ расходъ воды черезъ прямоугольное отверстіе шириною $1^1/_4$ фута или 0,380 м., а высотою $^1/_2$ фута или 0,150 м., сдѣланное въ четыреугольной стѣнкѣ шириною 2 ф. = 0,610 м., а высотою 1 ф. = 0,305 м. при напорѣ надъ центромъ отверстія $h = 2$ ф. = 0,610 м. въ неподвижной массѣ воды?

Теоретическій расходъ воды будетъ;

$$Q_1 = 0{,}380 \,.\, 0{,}159 \,.\, 4{,}43\sqrt{0{,}610} = 0{,}057 . 3{,}46 = 0{,}197 \text{ куб. метр.}$$

Коэффиціентъ расхода при полномъ и совершенномъ сжатіи по Понсле $\mu = 0{,}610$. Въ данномъ случаѣ отношеніе площадей

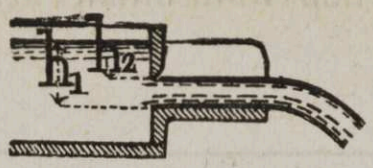
$$n = \frac{0{,}38 . 0{,}15}{0{,}61\ 0{,}305} = \frac{0{,}057}{0{,}186} = 0{,}307.$$

и для $n = 0{,}307$ по таблицѣ $\mu'' = 1{,}071 + {}^3/_{100}\ (1{,}107 - 1{,}071) = 1{,}071 + 0{,}004 = 1{,}075$. Слѣдовательно коэффиціентъ расхода $\mu''\ 0{,}307 = 1{,}075\ \mu = 1{,}075 . 0{,}610 = 0{,}6557$.

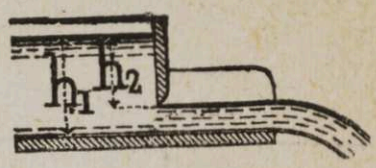
Поэтому дѣйствительный расходъ

$$Q = 0{,}6557\ Q_1 = 0{,}6557\ 0{,}197 = 0{,}129 \text{ куб. метр.}$$

102. Коэффиціенты расхода при истеченіи черезъ отверстія съ внѣшними приставными руслами. α) Если щитовое отверстіе вертикально, фиг. 354 и 355, и русло такъ продолжаетъ отверстіе, что только сверху отверстія остается заостренное ребро, то по опытамъ Лебро коэффиціенты расхода будутъ:



фиг. 354.



фиг. 355.

Таблица коэффиціентовъ расхода для отверстій въ вертикальной стѣнкѣ съ внѣшними приставными руслами.

h_1-h_2	$h_2=$ 0,02 м.	0,05 м.	0,1 м.	0,2 м.	0,5 м.	1 м.	1,5 м.	2 м.	3 м.
A	0,480	0,511	0,542	0,574	0,599	0,601	0,601	0,601	0,601
B 0,20 м.	0,480	0,510	0,538	0,566	0,592	0,600	0,602	0,602	0,601
C	0,527	0,553	0,574	0,592	0,607	0,610	0,610	0,609	0,608
A	0,488	0,577	0,624	0,631	0,625	0,624	0,619	0,613	0,606
B 0,05 м.	0,487	0,571	0,605	0,617	0,626	0,628	0,627	0,623	0,618
C	0,585	0,614	0,632	0,645	0,652	0,651	0,650	0,650	0,649

Форма этихъ трехъ отверстій *A*, *B* и *C* показана на фиг. 354 и 355; всѣ онѣ имѣли ширину 0,2 м. и сравнительно съ сѣченіемъ канала не велики. Русла въ *A* и *B* были горизонтальныя длиною 3 метра; отверстіе *C*, устроенное какъ *B*, имѣло русло длиною 2,5 м. съ наклономъ къ горизонту на $^1/_{10}$ его длины.

Примѣръ. Какой будетъ расходъ воды черезъ прямоугольное отверстіе шириною 2 дециметра, а высотою 1 деціm., если его нижнее ребро отстоитъ на 0,35 м. отъ горизонта воды и лежитъ на одной высотѣ съ дномъ сосуда: при истеченіи черезъ короткое горизонтальное прибавочное русло.

Въ этомъ случаѣ будемъ имѣть отверстіе *B*, для котораго напоръ надъ верхнимъ ребромъ $=0,35-0,10=0,25$ метр. Изъ таблицы при напорѣ надъ верхнимъ ребромъ отверстія $h_2=0,20$ м. и высотѣ онаго $h_1-h_2=0,20$ м. посредствомъ интерполированія получимъ для μ_1 величины;

$$0,566+{}^5/_{30}\,(0,592-0,566)=0,570 \text{ и } 0,617+{}^5/_{30}\,(0,626-0,617)=0,619$$

Слѣдовательно во второмъ случаѣ будетъ: $\mu_1=(0,570+0,619):2=0,594$

Площадь отверстія $ab=0,20.0,10=0,020$ кв. м. и средній напоръ $h=0,350-0,050=0,300$ м. Теоретическое количество воды.

$$Q_1x=a.\,b.\,4,43\sqrt{h}=0,02.4,43\sqrt{0,3}=0,02.2,425=0,0485 \text{ куб. метр.}$$

Дѣйствительный расходъ будетъ:

$$Q=\mu_1 Q=0,594.\,0,0485=0,0288 \text{ куб. м.}$$

β) Если щитъ стоитъ наклонно и устройство русла такое, что нѣтъ сжатія ни на днѣ, ни на сторонахъ, то, означая черезъ β^0 уголъ наклона щита къ горизонту, имѣемъ:

$$\mu_1=0,944-0,0032\,\beta^0 \begin{cases} \beta= & 40 & 45^0 & 50^0 & 55^0 & 60^0 \\ \mu_1= & 0,816 & 0,80 & 0,784 & 0,768 & 0,752 \end{cases}$$

γ) Для шлюзныхъ оконъ, у которыхъ порогъ находится почти у дна, слѣдуетъ брать $\mu_1=0,625$.

ТАБЛИЦА РАСХОДОВЪ ВОДЫ ВЪ ЛИТРАХЪ

черезъ вертикальныя щитовыя окна шириною въ 1 метръ при разныхъ напорахъ (сжатіе полное).

СОСТАВЛЕННАЯ ИНЖЕНЕРОМЪ **АРМАНГО** СТАРШИМЪ.

Отверстіе или вертикальная высота окна въ метр.	РАСХОДЪ ВОДЫ ВЪ ЛИТРАХЪ ВЪ СЕКУНДУ ПРИ НАПОРАХЪ НАДЪ ЦЕНТРОМЪ ОКНА.																								
	0,10 м.	0,20 м.	0,30 м.	0,40 м.	0,50 м.	0,60 м.	0,70 м.	0,80 м.	0,90 м.	1,00 м.	1,10 м.	1,20 м.	1,30 м.	1,40 м.	1,50 м.	2,00 м.	2,50 м.	3,00 м.	3,50 м.	4,00 м.
0,05	44	62	76	88	98	107	116	124	131	138	145	151	157	162	168	191	214	235	251	268
0,06	53	75	91	107	117	128	139	148	157	165	175	181	187	194	201	229	257	281	301	321
0,07	61	86	106	122	136	148	161	172	183	192	201	210	218	226	233	267	299	327	350	374
0.08	69	98	120	139	155	170	184	196	207	219	229	248	249	258	266	305	341	374	400	427
0,09	78	109	135	156	174	191	208	220	236	246	257	267	279	289	300	343	382	420	450	481
0,10	86	122	149	173	193	212	228	246	259	272	285	298	310	321	332	380	424	466	500	533
0,11	94	133	164	189	212	230	249	267	284	299	314	327	340	353	365	418	466	511	550	587
0,12	102	145	178	206	230	251	272	291	309	326	341	356	371	384	397	455	507	557	599	640
0,13	110	157	192	222	249	272	294	314	334	352	368	385	401	416	429	492	549	602	647	693
0,14	119	168	206	238	267	292	316	338	359	379	396	414	431	446	462	510	590	648	697	745
0,15	126	179	220	255	285	312	338	361	384	405	424	443	461	477	493	566	631	693	747	799
0,16	134	190	234	271	304	330	360	385	409	432	452	472	491	509	526	603	673	739	797	852
0,17	142	201	248	287	322	350	382	414	434	456	478	501	521	540	558	638	715	784	847	905
0,18	150	213	262	304	340	370	403	432	459	484	506	529	551	571	589	677	757	830	896	958
0,19	158	223	276	324	358	392	425	454	483	510	534	558	580	601	621	715	799	876	946	1011
0,20	167	235	291	337	377	414	447	485	509	536	562	586	610	627	654	753	841	922	996	1065
0,21	„	247	305	354	396	431	470	512	534	563	590	615	640	664	687	790	884	968	1046	1118
0,23	„	271	334	388	434	472	515	550	585	616	646	674	701	726	757	865	1968	1060	1146	1224
0,27	„	318	392	454	509	559	594	645	688	724	758	791	823	853	883	1016	1136	1245	1345	1437
0,29	„	340	421	487	546	602	649	693	735	777	815	850	884	916	949	1092	1220	1337	1444	1544
0,31	„	364	449	521	583	635	694	741	787	831	871	909	945	980	1014	1167	1305	1429	1544	1650
0,33	„	388	477	555	622	676	737	789	839	884	927	969	1007	1043	1079	1242	1389	1521	1644	1756
0,35	„	415	507	588	659	717	782	837	889	938	983	1027	1067	1103	1145	1317	1473	1614	1743	1863
0,37	„	436	534	622	696	758	826	885	940	981	1040	1086	1128	1169	1210	1392	1557	1706	1843	1969
0,39	„	462	564	653	734	798	872	933	991	1045	1096	1145	1189	1232	1276	1468	1641	1798	1943	2076
0,41	„	„	591	688	772	840	915	981	1042	1097	1152	1203	1250	1298	1341	1543	1725	1890	2042	2182
0,43	„	„	620	722	809	881	961	1028	1093	1151	1208	1262	1311	1361	1407	1618	1809	1982	2142	2289
0,45	„	„	649	754	847	920	1005	1076	1144	1204	1265	1321	1372	1424	1472	1694	1894	2075	2241	2394
0,47	„	„	677	787	885	961	1050	1124	1194	1257	1321	1380	1433	1488	1537	1769	1978	2167	2341	2504
0,49	„	„	706	820	922	1002	1095	1172	1245	1311	1377	1438	1494	1551	1603	1845	2062	2259	2440	2614
0,50	„	„	733	853	940	1023	1115	1194	1271	1337	1405	1468	1525	1583	1635	1882	2104	2305	2490	2669

Примѣчаніе.—Въ томъ случаѣ, когда сжатіе не полное, нужно умножать расходъ воды, найденный по таблицѣ, на слѣдующія числа:
При стоячемъ щитѣ = 1,035, если сжатіе происходитъ на 3 сторонахъ
„ „ „ = 1,072, „ „ „ „ 2 „
„ „ „ = 1,125, „ „ „ „ 1 сторонѣ.
При наклонѣ щита на 60^0 = 1,23, если сжатіе на 1 сторонѣ
„ „ „ „ 45^0 = 1,33, „ „ „ „ „

Модуль Прони соотвѣтствуетъ 20 куб. метр. воды, вытекающей въ 24 часа чрезъ отверстіе діаметромъ 0,02 м., сдѣланное въ доскѣ толщиною 0,017 м. при напорѣ 0,03 м. надъ центромъ отверстія.

Правило. Чтобы опредѣлить при помощи этой таблицы расходъ воды черезъ прямоугольное отверстіе въ тонкой стѣнкѣ или черезъ вертикальное щитовое окно при нѣкоторомъ напорѣ надъ отверстіемъ, когда сжатіе полное, нужно искать въ таблицѣ число, соотвѣтствующее высотѣ отверстія и напору надъ его центромъ и умножить это число на данную ширину отверстія.

При различныхъ расположеніяхъ щитоваго окна руководствоваться примѣчаніями внизу таблицы.

Примѣръ. Если щитъ, наклоненный подъ угломъ въ 50 градусовъ, закрывающій отверстіе русла шириною 0,760 м. будетъ поднятъ на 0,150 м. и высота воды надъ поломъ русла 1,217 м., то вертикальная высота отверстія будетъ:

$$a = 0{,}150.\ sin\ 50^0 = 0{,}150.0{,}766 = 0{,}115 \text{ м.}$$

Напоръ надъ центромъ отверстія:

$$h = 1{,}217 - {}^1/_2.0{,}115 = 1{,}217 - 0{,}057 = 1{,}160 \text{ м.}$$

и коэффиціентъ расхода $\mu_1 = 0{,}78$. Расходъ воды будетъ:

$$Q = 0{,}78.0{,}760.0{,}115.\ 4{,}43\ \sqrt{1{,}16} = 0{,}78.0{,}0874.4{,}77 = 0{,}78.0.42 = 0.3276$$

103. Хотя опредѣленіе расхода воды при помощи таблицъ Понслэ и Лебро очень просто, но еще проще пользоваться таблицею Арманго. на стр. 292 и 293.

Примѣръ 1. Найти расходъ воды чрезъ вертикальное окно шириною 0,80 м., когда высота открытаго отверстія 16 см. и напоръ надъ центромъ 2,55 м?

Этого напора 2,55 м. въ таблицѣ Арманго нѣтъ, но онъ заключается между 2,50 и 3,00 м.; расходъ соотвѣтствующій отверстію въ 16 см. при 1 м. ширины заключается между 673 и 739. Разность 66 литровъ приходится на 0,50 м. разности въ напорѣ; поэтому на 0,05 прійдется:

$${}^5/_{50}\ (739-673) = {}^1/_{10} \cdot 66 = 6{,}6 \text{ литровъ.}$$

Слѣдовательно расходъ воды будетъ $673 + 6{,}6 = 679{,}6$ или 680 литровъ, если бы ширина отверстія = 1 м.; искомый расходъ:

$$680 \cdot 0{,}80 = 544 \text{ литра} = 0{,}544 \text{ куб. м. въ 1 сек.}$$

Примѣръ 2. Если бы высота отверстія была 16,5 см. (вмѣсто 16), другія же заданія остаются прежнія, то расходъ заключался бы между числами 673 и 715 для напора 2,5 м. и между числами 739 и 784 для напора 3,00 м. Найдемъ расходъ для напора 2,55 м. при высотѣ 17 см.

$715 + {}^5/_{50}\ (784-715) = 715 + {}^1/_{10} \cdot 69 = 721{,}9$ или 722 литровъ на 1 метръ ширины.

Дѣйствительный расходъ будетъ:

$$0{,}8 \cdot \frac{680 + 722}{2} = 0{,}8 \cdot \frac{1402}{2} = 0{,}8 \cdot 701 = 561 \text{ литръ} = 0{,}561 \text{ куб. м. въ 1 сек.}$$

Если предположимъ, что порогъ отверстія находится на самомъ днѣ канала, т. е. сжатіе происходитъ только на трехъ сторонахъ отверстія, то расходъ будетъ:

$$561 \cdot 1{,}035 = 580 \text{ литровъ.}$$

Примѣръ 3. Опредѣлить расходъ воды черезъ наклонное подъ 45° отверстіе, коего вертикальная высота 0,115 м. и напоръ надъ центромъ отверстія 1,160 м. при ширинѣ его 0,760 м.; двѣ вертикальныя стороны и дно отверстія составляютъ продолженіе стѣнокъ резервуара.

Если бы окно было вертикальное, расходъ воды заключался бы между числами 314 и 326 при напорѣ 1,1 м. и между числами 327 и 341 при напорѣ 1,2 м. Поэтому:

$$\left.\begin{array}{l} 314 + {}^6/_{10}\ (327-314) = 314 + {}^6/_{10} \cdot 13 = 314 + 7{,}8 = 312 \text{ митр.} \\ 326 + {}^6/_{10}\ (341-326) = 326 + {}^6/_{10} \cdot 15 = 326 + 9{,}0 = 335 \quad \text{„} \end{array}\right\} \frac{647}{2} = 323{,}5.$$

Предполагая полное сжатіе и вертикальное отверстіе расходъ былъ бы $323{,}5 \cdot 0{,}76 = 247{,}38$ литра; искомый расходъ

$$247{,}38 \cdot 1{,}33 = 326{,}5 \text{ литра} = 0{,}3265 \text{ куб. м. въ 1 сек.}$$

Шлюзовыя отверстія. Когда вертикальныя отверстія имѣютъ порогъ очень близко отъ дна, какъ это обыкновенно бываетъ въ шлюзовыхъ окнахъ, то для опредѣленія расхода воды въ этомъ случаѣ

Умножь расходъ, найденный по таблицѣ Арманго на число 1,04.

Если же два шлюзовыя отверстія открыты одновременно и разстояніе между ними меньше 3 м., для вычисленія расхода

Умножь расходъ, найденный по таблицѣ Арманго, на число 0,915.

Примѣръ. Если отверстія двухъ шлюзовыхъ оконъ, помѣщенныхъ одно отъ другаго на разстояніи 2 м., имѣли бы вмѣстѣ ширину 1,50 м. и были открыты на

одинаковую высоту 0,45 м. при напорѣ надъ центромъ 2,00 м., то каковъ былъ бы дѣйствительный расходъ воды въ 1 сек?

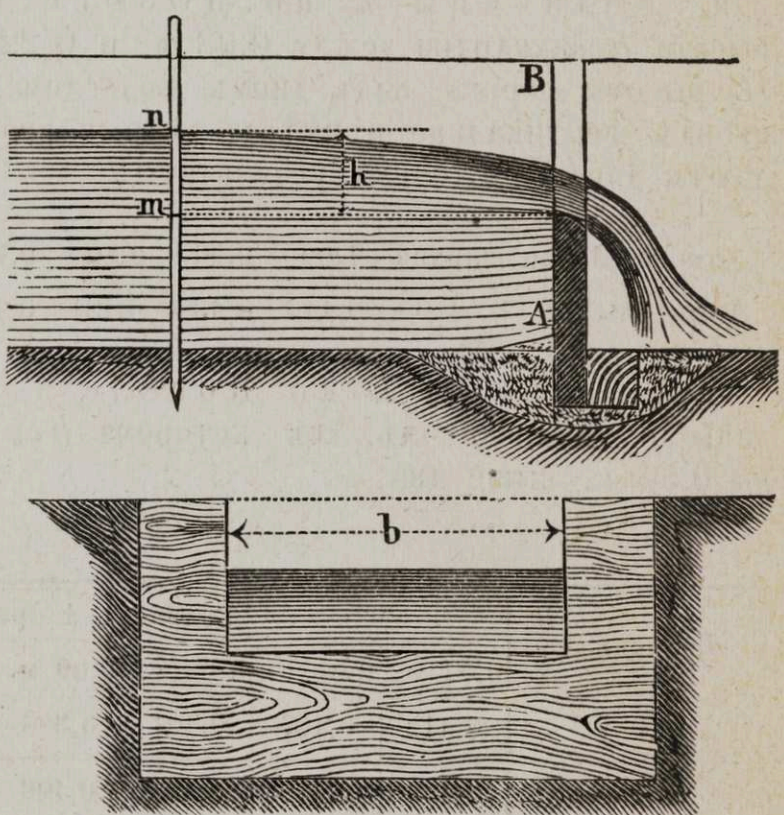
Находимъ въ таблицѣ 1694 литра при напорѣ 2,00 м. и ширинѣ въ 1 м. Слѣдовательно имѣемъ:

$$1694 \cdot 1{,}50 \cdot 0{,}915 = 2541 \cdot 0{,}915 = 2325 \text{ литровъ} = 2{,}325 \text{ куб. м. въ 1 сек.}$$

Примѣчаніе. Во всѣхъ случаяхъ, разсмотрѣнныхъ выше, предполагалось, что истеченіе совершается чрезъ отверстіе открытое въ свободный воздухъ; если бы оно было затоплено, то вычисленіе было бы точно такое, только вмѣсто напора надъ центромъ отверстія нужно брать разность высотъ отъ этого центра до обоихъ уровней.

Если отверстіе сопровождается русломъ, болѣе или менѣе наклоненнымъ, то въ практикѣ присутствіе этого русла почти не вліяетъ на расходъ воды.

104. Количество воды, протекающее черезъ совершенный водосливъ. 1) Если прямоугольное отверстіе резервуара продолжается выше уровня воды въ немъ, то образуется водосливъ; его нижнее горизонтальное ребро называется порогомъ или вершиной (фиг. 356—357). Водосливъ называется совершеннымъ, если истеченіе воды совершается въ воздухъ, т. е. если уровень въ каналѣ, принимающемъ воду, лежитъ ниже порога водослива, и несовершеннымъ, если порогъ его затопленъ и со стороны, куда вода вытекаетъ.



фиг. 356—357.

Если требуется опредѣлить полезное дѣйствіе водянаго колеса или турбины, то нужно тщательно измѣрить количество рабочей воды. Для этого въ водоприводномъ каналѣ устраиваютъ искусственный водосливъ съ острымъ горизонтальнымъ порогомъ и острыми вертикальными стѣнками; при этомъ порогъ скашивается къ сторонѣ истеченія почти на 45°, такъ что остается только ребро въ 6 до 8 мм. шириною. Тогда вычисляютъ количество воды по нижеслѣдующимъ правиламъ. Пусть Q количество воды въ куб. метр., стекающее черезъ водосливъ въ 1 секунду; b ширина водослива; B ширина бассейна или канала, въ которомъ устроенъ водосливъ; h высота mn уровня надъ порогомъ водослива, измѣренная на разстояніи отъ 1 до 2 метр. позади водослива, гдѣ вода спокойна, или же измѣренная высотою столба воды, образующагося въ открытой стеклянной трубкѣ, которая погружена въ воду непосредственно возлѣ водослива почти до дна бассейна. Чтобы избѣжать колебаній этого столба воды, съуживается отверстіе на нижнемъ концѣ трубки.

Теперь bh будетъ почти=отверстію, чрезъ которое вытекаетъ вода и $\sqrt{2gh}$ будетъ теоретическая скорость самаго глубокаго слоя воды въ этомъ отверстіи. Если бы всѣ слои имѣли эту же скорость, то количество воды въ секунду было бы $=bh\sqrt{2gh}$. Но такъ какъ средняя скорость воды меньше и въ большей части случаевъ происходитъ сжатіе, то это выраженіе слѣдуетъ умножить на коэффиціентъ k, который исправилъ бы какъ скорость, такъ и сжатіе. Поэтому расходъ воды.

$$Q=kbh\sqrt{2gh}.$$

величина коэффиціента k существенно зависитъ отъ отношенія $\frac{b}{B}$ ширины водослива къ ширинѣ канала. Это отношеніе называется относительною шириною водослива. Если водосливъ простирается во всю стѣнку, то $b=B$.

a. Величины k по Д'Обюиссону и Кастелю. Если высота h находится между 0,03 м. и 0,22 м.; далѣе, если h не болѣе $^1/_3$ высоты порога надъ дномъ водослива и если наконецъ водосливъ стоитъ вертикально и имѣетъ острыя ребра, то слѣдующія величины даютъ довольно точные результаты:

Относительная ширина	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30
Величины k	0,443	0,438	0,431	0,423	0,416	0,410	0,405	0,399.

b. Величины k по Понсле и Лебро. Опыты были сдѣланы съ водосливомъ, въ которомъ $b=0{,}20$ м. и порогъ находился на 0,54 м. выше дна.

Величина $\frac{B}{b}$	Величина k при высотѣ напора.							
	0,02 м.	0,04 м.	0,06 м.	0,09 м.	0,12 м.	0,18 м.	0,25 м.	0,30 м.
0,054	0,412	0,407	0,401	0,396	0,394	0,392	0,379	0,371
0,156	0,428	0,416	0,407	0,400	0,396	0,393	0,383	0,375
0,833	0,444	0,429	0,424	0,421	0,420	0,424	0,422	0,418
1,000	0,473	0,449	0,437	0,434	0,434	0,432	0,428	0,424

c. Величины k по Брашману. Если b больше 0,08 м. и порогъ водослива находится по крайнѣй мѣрѣ на 0,10 м. выше дна канала, то величины k для остроребернатаго вертикальнаго водослива въ метрическихъ мѣрахъ:

$$k=0{,}3838+0{,}0386\frac{b}{B}+0{,}00053\frac{1}{h}.$$

Отсюда видно, что величина k увеличивается, если b приближается по величинѣ къ B и если h уменьшается. Отсюда таблица

Относительная ширина.	Величина коэффиціента k при высотѣ напора:							
	0,02 м.	0,04 м.	0,06 м.	0,09 м	0,12 м.	0,18 м.	0,24 м.	0,30 м.
0,05	0,412	0,399	0,394	0,392	0,390	0,389	0,388	0,388
0,07	0,413	0,400	0,395	0,392	0,391	0,389	0,389	0,388
0,10	0,414	0,401	0,396	0,393	0,392	0,391	0,390	0,389
0,15	0,416	0,403	0,398	0,395	0,394	0 393	0,392	0,391
0,20	0,418	0,405	0,400	0.397	0,396	0,394	0,394	0,393
0,30	0,422	0,409	0,404	0,401	0,400	0,398	0.398	0,397
0,40	0,426	0,412	0,408	0,405	0,404	0,402	0,401	0,401
0,50	0,430	0,416	0,412	0,409	0,407	0,406	0 405	0,405
0,60	0,433	0,420	0 416	0,413	0,411	0,410	0,409	0,409
0,70	0,437	0,424	0,420	0,417	0.415	0,414	0,413	0,413
0,80	0,441	0,428	0,424	0,421	0,419	0,418	0,417	0,416
0,90	0,445	0,432	0,427	0,424	0,423	0,422	0,421	0,420
1,00	0,449	0,436	0,431	0,428	0,427	0,425	0,424	0,424

d. Величины k по Френсису. Ребро водослива, шириною 0,614 м. и 1,539 м. выше дна, была доска наклоненная къ потоку.

Для метрической мѣры

$$k = 0{,}415\left(1 - 0{,}1n\frac{h}{b}\right)$$

гдѣ $n = 2$ или 1 или 0 смотря потому имѣется ли сжатіе на двухъ или на одной сторонѣ или его совсѣмъ нѣтъ. *)

---

*) Несовершенное сжатіе. Если вода подходитъ къ водосливу съ нѣкоторою скоростію, то расходъ воды увеличивается. Если обозначимъ черезъ n отношеніе сѣченія bh водослива къ площади живаго сѣченія канала выше водослива, то по опытамъ Вейсбаха

a) для случая, когда b существенно меньше B и сжатіе струи существуетъ съ трехъ ея сторонъ: $k = k_0\ (1 + 1{,}718n^4)$

b) для случая, когда водосливъ занимаетъ всю ширину канала и сжатіе происходитъ только на порогѣ: $k = k_0\ (1{,}041 + 0{,}369n^2)$.

При этомъ k_0 обозначаетъ коэффиціентъ, выведенный изъ опытовъ Понсле-Лебро надъ водосливами, съ полнымъ сжатіемъ, а именно:

Ширина отверстія 0,2 метра		Ширина отверстія 0,6 метра		Ширина отверстія 0,2 метра		Ширина отверстія 0,6 метра	
$h =$	$k_0 =$	$h =$	$k_0 =$	$h =$	$k_0 =$	$h =$	$k_0 =$
0,01	0,424	0,06	0,412	0,03	0,397	0,30	0,391
0,02	0,417	0,10	0,406	0,10	0,395	0,40	0,391
0,04	0,407	0,15	0,400	0,15	0,393	0,50	0,391
0,06	0,401	0,20	0,395	0,20	0,390	0,60	0,390
—	—	—	—	0,22	0,385	—	—

Ширина b	Величины k при высотахъ напора воды и при $n = 2$							
	0,05 м.	0,10 м.	0,15 м.	0,20 м.	0,25 м.	0,30 м.	0,35 м.	0,40 м.
0,50	0,407	0,398	0,390	0,382	—	—	—	—
0,75	0,409	0,404	0,398	0,393	0,387	—	—	—
1,00	0,411	0,407	0,403	0,398	0,394	0,390	—	—
1,50	0,412	0,409	0,407	0,405	0,402	0,399	0,397	—
2,00	0,413	0,411	0,409	0,407	0,405	0,403	0,407	0,398
3,00	0,414	0,412	0,411	0,409	0,408	0,407	0,405	0,404
4,00	0,414	0,413	0,412	0,411	0,410	0,409	0,408	0,407

е. Величины k по Буало. Поперечное сѣченіе канала прямоугольное; относительная ширина водослива $= 1$; порогъ водослива наклоненъ на 45^0.

Высота напора.	Величины k при высотахъ порога водослива надъ дномъ канала.								
	0,20 м.	0,30 м.	0,40 м.	0,50 м.	0,60 м.	0,70 м.	0,80 м.	0,90 м.	1,00 м.
0,04 м.	0,421	0,426	0,418	0,408	0,402	0,404	0,413	0,425	0,418
0,06 „	0,416	0,422	0,414	0,404	0,398	0,400	0,410	0,422	0,416
0,08 „	0,418	0,424	0,415	0,405	0,399	0,401	0,411	0,422	0,416
0,10 „	—	0,425	0,424	0,418	0,410	0,409	0,413	0,419	0,416
0,12 „	—	0,428	0,427	0,421	0,411	0,409	0,412	0,420	0,419
0,14 „	—	—	0,432	0,424	0,413	0,408	0,410	0,422	0,424
0,16 „	—	—	0,436	0,430	0,418	0,408	0,410	0,426	0,425
0,18 „	—	—	—	0,432	0,424	0,416	0,417	0,428	0,424
0,20 „	—	—	—	0,436	0,431	0,427	0,428	0,430	0,426
0,24 „	—	—	—	—	0,435	0,434	0,437	0,434	0,429
0,26 „	—	—	—	—	0,435	0,437	0,439	0,437	0,431
0,28 „	—	—	—	—	0,437	0,439	0,441	0,440	0,434
0,30 „	—	—	—	—	—	0,441	0,444	0,444	0,437
0,34 „	—	—	—	—	—	—	0,443	0,445	0,441
0,38 „	—	—	—	—	—	—	0,441	0,441	0,443

Примѣръ. Пусть при водосливѣ съ острыми ребрами имѣется: $b = 0{,}80$ м. $B = 1{,}2$ м. и $h = 0{,}15$ м. Тогда

Величина k по Д'Обюиссону . . . . . $= 0{,}418$

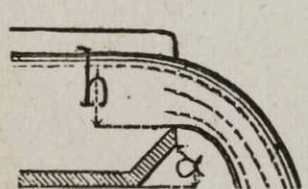
„ „ „ Лебро . . . . . $= 0{,}415$

„ „ „ Брашману . . . . . $= 0{,}413$

Поэтому можно принять . . . . . $k = 0{,}415$

Далѣе для $h = 0{,}15$ м. будетъ . . . . . $\sqrt{2gh} = 1{,}715$

Расходъ воды въ кубич. метрахъ $Q = 0{,}415.0{,}80.0{,}15.1{,}715 = 0{,}0854$ куб. м.



фиг. 280.

2) Если стѣнка водослива наклонена подъ угломъ α къ горизонту (фиг. 280), то при $\alpha = 45^0$, коэффиціентъ расхода $k = 0{,}467$; а при $\alpha = 63\frac{1}{2}{}^0$, $k = 0{,}447$, если водосливъ имѣетъ острыя ребра со всѣхъ сторонъ.

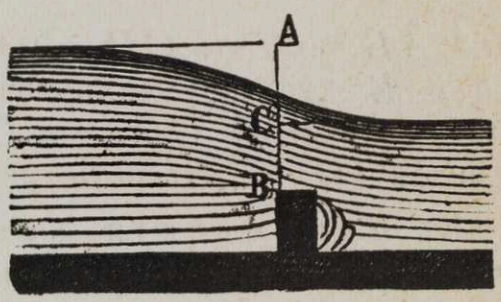
3) Совершенный водосливъ при незначительномъ сжатіи струи. Водосливы только тогда имѣютъ острыя ребра, если они употребляются для измѣренія расхода воды въ ручьяхъ и для этой цѣли приготовляются особенно. Плотины же,

устраиваемыя для подпруживанія воды съ техническими цѣлями, всегда получаютъ плоскую или же округленную вершину такъ что вода переливается черезъ нее безъ особенно замѣтнаго сжатія. Въ этомъ случаѣ расходъ воды, переливающейся въ 1 секунду, по Эйтельвейну будетъ:

$$Q = 0{,}57bh\sqrt{2gh}\sqrt{1 + 0{,}115\,\frac{u^2}{h}}$$

при чемъ Q, b, h имѣютъ прежнія значенія и u скорость воды въ рѣкѣ въ нѣкоторомъ разстояніи отъ плотины.

105. О стокѣ воды черезъ несовершенный водосливъ. Если вертикальное разстояніе между двумя уровнями воды, лежащей выше и ниже водослива по теченію, меньше высоты давленія, т. е. меньше вертикальнаго разстоянія между порогомъ водослива и уровнемъ воды, лежащей выше, тогда водосливъ называется несовершеннымъ. (фиг. 358).



фиг. 358.

Для опредѣленія количества воды, протекающей черезъ такой водосливъ, раздѣлимъ все отверстіе водослива на двѣ части; первая часть, которой высота $AC=h$ равна разстоянію между двумя уровнями, соотвѣтствуетъ совершенному водосливу такой же высоты; вторую часть $CB=c$ можно сравнить съ прямоугольнымъ отверстіемъ въ вертикальной боковой стѣнѣ. Слѣдовательно нужно опредѣлить количество воды, вытекающей изъ каждой части отдѣльно; сумма ихъ дастъ количество воды, вытекающей изъ всего водослива. Обозначимъ разстояніе $AC+\frac{CB}{2}$ черезъ h_1; тогда

$$Q = K\,bh\sqrt{2gh} + cb\mu_1\sqrt{2gh_1}$$

Примѣръ. Ширина водослива равна ширинѣ канала и равна 2 м; далѣе пусть $AC=h=0{,}32$ м. и $CB=c=0{,}28$ м.

Количество воды, вытекающей чрезъ верхнюю часть AC въ секунду, если $k=0{,}424$

$$Q = 0{,}424.2.0{,}32\sqrt{19{,}02.0{,}32} = 0{,}680 \text{ кубическихъ метр.}$$

Для нижней части высотою CB, высота давленія $=0{,}32+\frac{0{,}28}{2}=0{,}46$ м.

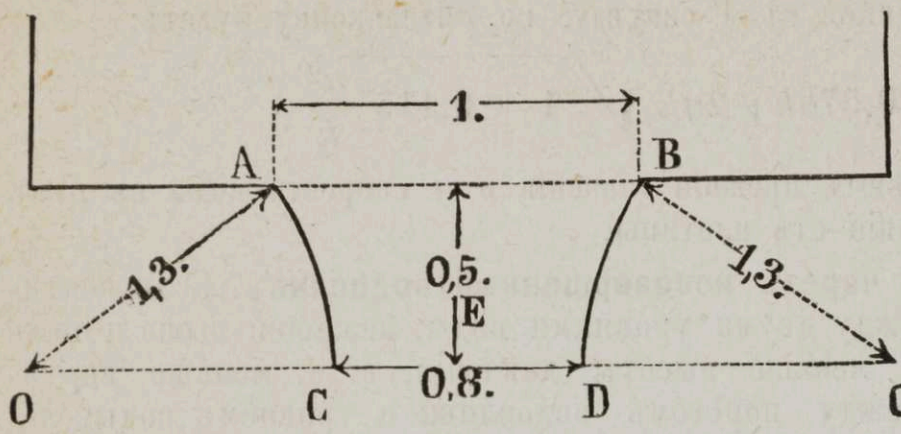
Коэффиціентъ сжатія по таблицѣ Понсле и Лебро, если бы сжатіе было полное, $=0{,}624$; но такъ какъ сжатіе происходитъ только съ одной нижней стороны, то этотъ коэффиціентъ (по стр. 289) $=0{,}602\ (1+0{,}1523.\ 0{,}05614)=0{,}651$.

Слѣдовательно, количество вытекающей воды $=0{,}651.\ 2.0{,}28\sqrt{19{,}62\ 0{,}46}=$ $=1{,}094$ куб. м.

И количество воды вытекающей изъ всего водослива, $Q=0{,}680+1{,}094=1{,}774$ кубическ. метр.

106. Истеченіе воды изъ отверстій съ насадными трубками. 1) в). Сжатія струи можно почти совершенно уничтожить если къ отверстію приставить коротенькую трубочку, которой каналъ имѣетъ въ точности видъ сжатой струи. Точно также дѣйствуютъ и короткія коническія или цилиндрическія трубки. Но эти трубочки для увеличенія расхода воды должны быть короткими, иначе отъ тренія воды объ ихъ стѣнки значительно уменьшается скорость истеченія.

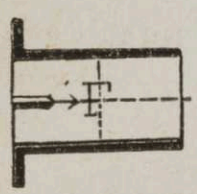
2) Коноидальныя насадки. Каналъ коноидальной насадной трубки при кругломъ отверстіи есть поверхность вращенія, коей образующая получается слѣдующимъ образомъ:



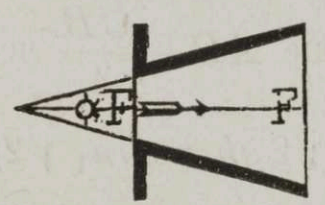
фиг. 359.

Взявъ линію (фиг. 359) AB=діаметру отверстія возставимъ изъ средины ея перпендикуляръ $= 0.5\ AB$ и изъ конца этого перпендикуляра проводятъ линію CD, параллельную AB. На CD. отъ точки E откладываютъ $CE = ED = 0.4\ AB$, такъ что $CD = 0.8\ AB$. Потомъ точки C и D соединяютъ съ A и B дугами, коихъ центры O и o' лежатъ на продолженіи линіи CD, а радіусы $CO = o'D = 1{,}3\ AB$. Для коноидальной насадки, считая CD за отверстіе истеченія, имѣемъ $\mu = 0.96$.

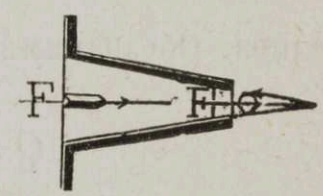
3) Коническія насадки. Опыты Д'Обюйсона и Кастеля показали, что при коническихъ сходящихся насадкахъ (ф. 361), коихъ длина $= 2{,}5\ d$ величина μ больше чѣмъ для цилиндрическихъ насадокъ, что коэф. расхода наибольшій, при углѣ сходимости $13^0\ 24^1$ и что тогда $\mu = 0$, 946. При коническихъ расходящихся насадкахъ (фиг. 362) получается гораздо меньшій коэф. расхода, чѣмъ при цѣ-



фиг. 360.



фиг. 361.



фиг. 362.

линдрическихъ насадкахъ и всегда менѣе коэффиціента расхода, который соотвѣтствуетъ отверстію F, сдѣланному въ тонкой стѣнкѣ.

4) Цилиндрическія насадныя трубки. Здѣсь предполагаются насадки съ острыми (неокругленными) ребрами. Коэффиціентъ расхода μ измѣняется съ отношеніемъ длины l цилиндрической трубы къ ея діаметру d; имѣемъ для μ слѣдующія величины:

при $\frac{l}{d} =$	1	2—3	12	24	36	48	60
$\mu =$	0,88	0,82	0,77	0,73	0,68	0,63	0,6

Для короткихъ цилиндрическихъ насадокъ (когда $l : d = 2{,}5$ до $3{,}5$) фиг. 360 имѣемъ среднимъ числомъ $\mu = Q : Q_1 = 0{,}815 = \varphi$.

Если короткая приставная трубка помѣщена на стѣнкѣ и если $m = \frac{\text{сѣченіе трубки}}{\text{площадь стѣнки}}$, то коэффиціентъ расхода μ_1 вычисляется по формулѣ:

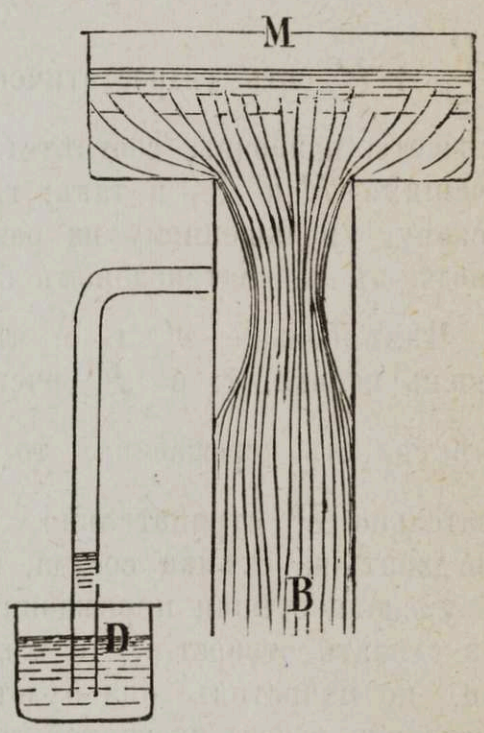
$$\mu_1 = \mu\,(1 + 0{,}102\,m + 0{,}067\,m^2 + 0{,}046\,m^3)$$

Вода входитъ въ трубку при несовершенномъ сжатіи. По этой формулѣ вычислены величины $\mu_1 : \mu$ слѣдующей таблицы:

$m =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\frac{\mu_1}{\mu} =$	1,013	1,027	1,043	1,06	1,08	1,102	1,127	1,152	1,181

Если насадная трубка съ острыми краями направлена внутрь сосуда и если струя сжимается сильно и не наполняетъ трубку, тогда $\mu = 0{,}500$; или, если она вытекаетъ разбрасываясь въ видѣ вѣника, тогда $\mu = 0{,}707$. Для внутренней трубки съ флянцами $\mu = 0{,}815$.

Примѣчаніе. При входѣ струи въ цилиндрическую насадку струя сжимается и въ мѣстѣ ея наибольшаго сжатія образуется пустота, если въ этомъ мѣстѣ сдѣлать отверстіе и вставить въ него конецъ согнутой трубки CD, коей другой конецъ опущенъ въ воду, находящуюся въ сосудѣ D, то вода въ трубкѣ CD поднимается (иногда до 0,6 м) Фиг. 363.



фиг. 363.

Если при этомъ вертикальная часть трубки CD недостаточно длинна, то вода изъ сосуда D входитъ въ насадку AB и изъ нея вытекаетъ вмѣстѣ съ водою резервуара M. Если сдѣлать въ A отверстіе, то дѣйствіе насадки на трубку CD прекращается и возстановляется всякій разъ, когда это отверстіе закрывается.—Подъ колпакомъ воздушнаго насоса цилиндрическія насадки сказаннаго дѣйствія на трубку CD не имѣютъ (опыты Вантюри).

До тѣхъ поръ пока струя сжата, она прозрачна, но если уничтожить сжатіе, то она дѣлается непрозрачной.

107. Коэффиціенты сопротивленія. Дѣйствительная скорость истеченія всегда менѣе теоретической, соотвѣтствующей данному напору. Чтобы объяснить уменьшеніе скорости воды, можно предположить, что весь дѣйствующій напоръ употребляется только отчасти для истеченія: одна часть идетъ на сообщеніе дѣйствительной скорости v, другая же часть теряется на преодолѣніе сопротивленій. Это воображаемое уменьшеніе напора называется потерею напора и можетъ быть принято пропорціональнымъ $\frac{v^2}{2g}$. Коэффиціентъ сопротивленія ζ_1 есть отношеніе потеряннаго напора къ напору дѣйствительной скорости. По этому $h = \frac{v^2}{2g} + \zeta_1 \frac{v^2}{2g}$; слѣдовательно $v = \sqrt{\frac{2gh}{1+\zeta_1}}$;

такъ какъ $v = \varphi \sqrt{2gh}$, то $\varphi = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta_1}}$; или $\zeta_1 = \frac{1}{\varphi^2} - 1$.

Для округленныхъ отверстій и отверстій въ тонкой стѣнкѣ $\zeta_1 = 0{,}063$ (соотвѣтственной средней величинѣ $\varphi = 0{,}97$). Для входа въ цилиндрическія насадки $\zeta_1 = 0{,}505$ (соотвѣтственно $\varphi = 0{,}815$).

108. Гидравлическое давленіе. 1) Гидравлическое давленіе есть давленіе двигающейся воды на стѣнки заключающаго ее сосуда. Мы имѣли уравненіе.

$$\frac{v^2}{2g} + h + \frac{P}{\gamma} = \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma}$$

Если мы разсмотримъ движеніе, начиная отъ сѣченія F_1 находящагося ниже поверхности на h^1, гдѣ скорость есть v', давленіе P', а разстояніе до отверстія $= h - h'$, то получимъ:

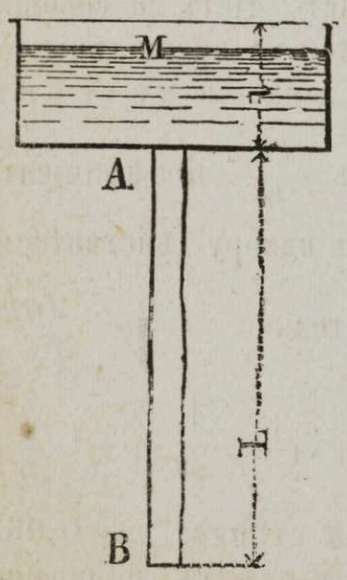
$$\frac{v'^2}{2g} + h - h' + \frac{P'}{\gamma} = \frac{V}{2g} + \frac{p}{\gamma}.$$

Вычитая изъ этого уравненія предыдущее, получимъ:

$$\frac{P'}{\gamma} = \frac{P}{\gamma} + h' - \frac{v'^2 - v^2}{2g}, \text{ гдѣ}$$

$\frac{P}{\gamma} + h'$ есть гидростатическое давленіе въ сѣченіи F_1; а $\frac{v'^2}{2g}$ и $\frac{v^2}{2g}$ суть высоты напоровъ, соотвѣтствующія скоростямъ v' и v жидкости въ сѣченіяхъ F и F_1 и такъ: гидравлическое давленіе равно гидростатистическому, уменьшенному на разность напоровъ соотвѣтствующихъ скоростямъ воды въ разсматриваемомъ сѣченіи и на поверхности горизонта.

Чѣмъ больше v', т. е. чѣмъ меньше F', тѣмъ меньше P'. Если v' очень велико, т. е F' очень мало, т. е. въ сосудѣ въ разсматриваемомъ мѣстѣ есть пережабина, то можетъ быть $\frac{v'^2 - v^2}{2g} > \frac{P}{\gamma} + h'$ и слѣдовательно P' отрицательно; т. е. въ этомъ мѣстѣ жидкость не только не давитъ на стѣнки сосуда, но стремится еще болѣе съузиться, чѣмъ ее съужаютъ стѣнки пережабины сосуда. Если въ стѣнкѣ такого мѣста сосуда сдѣлать отверстіе, то жидкость не только не будетъ вытекать изъ него, но напротивъ она будетъ всасывать воздухъ. Если въ это отверстіе вставить конецъ изогнутой трубки, опущенной другимъ концомъ въ сосудъ съ водою, то вода изъ этаго сосуда подымется въ трубкѣ на высоту соотвѣтствующую отрицательному гидравлическому давленію P'.



фиг. 364.

Такъ какъ $v = \frac{fV}{F}$ и $v' = \frac{fV}{F'}$, то

$$\frac{P'}{\gamma} = \frac{P}{\gamma} + h' - \frac{V^2 f^2}{2g} \cdot \frac{F^2 - F'^2}{F^2 F'^2} \quad \ldots (1)$$

2) Положимъ, что вода вытекаетъ изъ большаго резервуара M (ф. 364) черезъ длинную вертикальную трубку AB, цилиндрической формы. Положимъ, что на поверхность воды въ резервуарѣ давитъ атмосфера, что вытеканіе воды изъ трубки имѣетъ мѣсто въ воздухѣ и наконецъ, что отношеніе площади поперечнаго сѣченія трубы f къ площади F резервуара есть весьма малая дробь.

Если высота уровня въ резервуарѣ равна l, длина трубы L и ея площадь поперечнаго сѣченія $= f$, то скорость истеченія воды изъ трубы будетъ:

$$V=\sqrt{2g\,(L+l)} \quad \text{или} \quad \frac{V^2}{2g}=L+l.$$

Отнеся ур. (I) къ сѣченію A, имѣемъ въ ур. (I) $f=F'$, и $h'=l$

$$\frac{F^2-F'^2}{F^2\,F'^2}=\frac{F^2-f^2}{F^2\,f^2}=\frac{1-\frac{f^2}{F^2}}{f^2}=\frac{1}{f^2}, \text{ и } \frac{V^2f^2}{2g}\cdot\frac{F^2-F'^2}{F^2F'^2}=L+l.$$

И такъ въ сѣченіи A гидравлическое давленіе воды, выраженное въ высотѣ водянаго столба будетъ: по ур. (I)

$$\frac{P'}{\gamma}=\frac{P}{\gamma}+l-L-l=\frac{P}{\gamma}-L,$$

гдѣ $\frac{P}{\gamma}$ есть высота водянаго столба, измѣряющаго давленіе атмосферы т. е.

$$\frac{P}{\gamma}=10^m,336.$$

И такъ:

$$\frac{P'}{\gamma}=10^m,\,336-L.$$

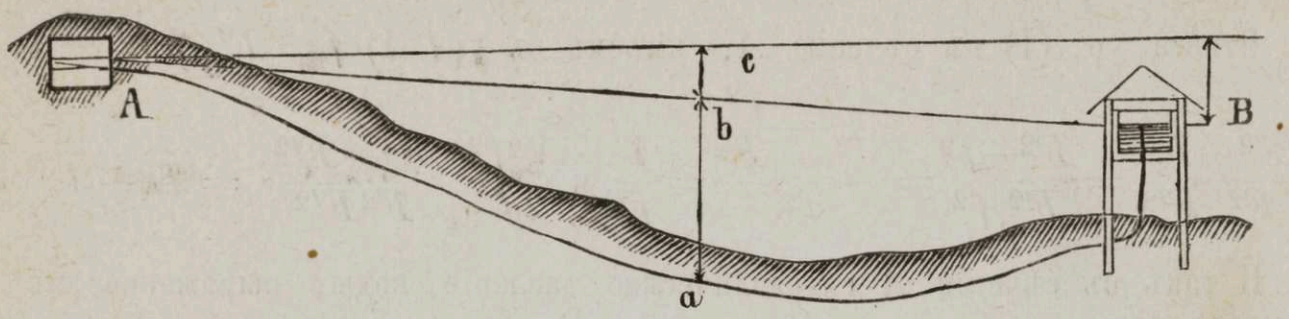
Очевидно, что $\frac{P'}{\gamma}=0$ если $L=10^m,336$.

Если же $L'>10^m,336$ то $\frac{P'}{\gamma}$ отрицательно; струя воды въ сѣченіи A трубы разорвется, по этому-то въ турбинахъ длина вертикальной всасывающей трубы не должна быть больше 10,336 м.

109. Движеніе воды въ цилиндрическихъ трубахъ. 1) Потеря напора вслѣдствіе тренія. Въ цилиндрической трубѣ скорость воды уменьшается отъ оси къ поверхности трубы вслѣдствіе тренія воды о стѣнки трубы и тренія частицъ воды между собою. Это сопротивленіе тренія не зависитъ отъ давленія воды въ трубѣ. Оно преодолѣвается соотвѣтственною частію напора, которая называется потерею напора. Необходима большая потеря паденія, чтобы въ длинной узкой трубѣ двигать воду съ большою скоростью. Если же водопроводъ имѣетъ сравнительно лишь малое паденіе,то труба должна быть широкая, а скорость воды небольшая. Частъ напора, соотвѣтствующая той скорости, съ которою вода вытекаетъ изъ трубы называетея скоростнымъ напоромъ.

Пусть требуется провести воду изъ бассейна A къ бассейну B помощію цилиндрическихъ трубъ. Если отъ уровня верхней воды проведемъ горизонтальную линію AC, то $BC=H$ есть вертикальное разстояніе обоихъ уровней воды или напоръ. Если не брать во вниманіе высоту

напора, которая соотвѣтствуетъ скорости воды при выходѣ изъ водопровода, то BC есть паденіе, которое употребляется на движеніе воды; слѣдовательно BC есть потеря напора. Если проведемъ AB, то давленіе воды въ какомъ нибудь мѣстѣ a водопровода будетъ измѣряться высотою ab



фиг. 365.

столба воды, который простирается отъ a до прямой линіи AB. Если бы, напримѣръ, въ водопроводѣ въ a вставить открытую трубочку и направить ее вертикально вверхъ, то вода въ ней могла бы подняться до b. Эта трубочка называется пьезометромъ. Слѣдовательно чрезъ движеніе отъ A до a теряется напоръ $=bc$. На этомъ основаніи прямая линія AB называется линіею давленія. Потерянный напоръ равенъ пониженію пьезометра.

Еели діаметръ водопровода измѣняется послѣдовательно отъ одного участка до другаго, то каждому участку соотвѣтствуетъ особая потеря напора, слѣдовательно особое направленіе линіи давленія.

Обозначимъ черезъ: l и d длину и діаметръ цилиндрической трубы въ метр.; v средняя скорость воды въ метр. въ секунду; h_1 потеря напора, происходящая отъ тренія.

Опыты показали, что потерянный напоръ прямо пропорціоналенъ длинѣ трубы l и периметру ея поперечнаго сѣченія πd (т. е. трущейся поверхности πdl), высотѣ скоростнаго напора $v^2/2g$ (гдѣ $g=9{,}81$ м. ускореніе при свободномъ паденіи) и обратно пропорціоналенъ площади поперечнаго сѣченія $1/4\pi d^2$; слѣдовательно пропорціоналенъ величинѣ

$$\frac{\pi dl}{1/4\pi d^2}\cdot\frac{v^2}{2g} \text{ или } 4\frac{l}{d}\cdot\frac{v^2}{2g}; \text{ поэтому можно положить } h_1=\zeta\frac{l}{d}\frac{v^2}{2g} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

гдѣ ζ_1 коэффиціентъ сопротивленія. Здѣсь не принимается въ расчетъ потеря напора, соотвѣтствующая сжатію воды при входѣ въ трубу и скорости воды при выходѣ.

Давленіе въ какой нибудь точкѣ водопровода есть $P=h-\frac{v^2}{2g}$, если труба не слишкомъ длинная, изображая черезъ h вертикальное разстояніе между уровнемъ бассейна и разсматриваемою точкою и черезъ v скорость воды въ этой самой точкѣ. Это давленіе дѣлается отрицательное, когда величина $v^2:2g$ дѣлается больше чѣмъ h или когда вода въ разсматриваемой точкѣ течетъ со скоростію большею чѣмъ $\sqrt{2gh}$.

а) Формула Цейнера. По Цейнеру ζ зависитъ отъ v слѣдующимъ образомъ:

$$(2). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \zeta=\alpha+\frac{\beta}{\sqrt{v}}=0{,}014312+\frac{0{,}010327}{\sqrt{v}} \text{ (для метр. мѣръ).}$$

Эта формула даетъ слѣдующіе результаты:

при $v=$	0,25	0,50	1,00	2,00	5,00	м.
$\zeta=$	0,03500	0,02892	0,02464	0,02161	0,01893	

a_1) Формула Вейс-баха. По Вейсбаху зависимость коеффиціента сопротивленія ζ отъ скорости v выражается такъ:

$$\zeta = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{v}} \text{ (для метровъ).}$$

Таблица Вейсбаха для чугунныхъ водопроводныхъ трубъ.

Десятыя части метра.

метры v	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	∞	0,0443	0,0356	0,0317	0,0294	0,0278	0,0266	0,0257	0,0250	0,0244
1	0,0239	0,0234	0,0230	0,0227	0,0224	0,0221	0,0219	0,0217	0,0215	0,0213
2	0,0211	0,0209	0,0208	0,0206	0,0205	0,0204	0,0203	0,0202	0,0201	0,0200
3	0,0199	0,0198	0,0197	0,0196	0,0195	0,0195	0,0194	0,0193	0,0193	0,0192
4	0,0191	0,0191	0,0190	0,0190	0,0189	0,0189	0,0188	0,0188	0,0187	0,0187

Коеффиціентъ сопротивленія ζ изъ этой таблицы берется слѣдующимъ образомъ: цѣлые метры, заключающіеся въ величинѣ скорости, ищутся въ первомъ вертикальномъ столбцѣ, десятыя части въ первомъ горизонтальномъ, а коеффиціентъ ζ на пересѣченіи направленій отъ найденныхъ чиселъ. Такъ напр. при $v=1{,}3$ м. $\zeta=0.0227$, при $v=2{,}8$ м., $\zeta=0.0201$.

Среднимъ числомъ $\zeta=0{,}025$, что соотвѣтствуетъ скорости $v=0{,}8$ м., а по Цейнеру скорости $v=1$ м.

При большихъ водоснабженіяхъ, образующихъ сѣть трубъ, примыкающихъ одна къ другой, нужно сколько возможно избѣгать крутыхъ поворотовъ, въ особенности на главныхъ линіяхъ. Нужно принимать въ расчетъ треніе въ трубахъ; но чтобы съ полною увѣренностію получить въ самыхъ отдаленныхъ трубахъ требующійся напоръ, берутъ коэффиціентъ сопротивленія ζ гораздо больше его средней дѣйствительной величины; по D^1 Обюиссону $\zeta=0{,}0284$; по Дюпюи $\zeta=0{,}0306$; по Бюркли $\zeta=0{,}0482$.

Для прямоугольнаго поперечнаго сѣченія со сторонами a и b для $\zeta\frac{l}{d}$ имѣемъ выраженіе $\zeta\frac{a+b}{2ab}l$ и для поперечнаго сѣченія произвольнаго вида съ периметромъ U и площадью F замѣняютъ $\zeta\frac{l}{d}$ выраженіемъ $\frac{\zeta}{4}\cdot\frac{U}{F}l$.

Количество воды Q, которое можно получить чрезъ водопроводъ данныхъ размѣровъ при данномъ напоръ, будетъ:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v = 0{,}7854\ d^2 v;$$ гдѣ

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1{,}505 + \zeta \frac{l}{d}}} = \frac{4Q}{\pi d^2} = 1{,}2732 \frac{Q}{d^2}.$$

Таблица расхода воды при скорости теченія v=3 футамъ.

Внутренній діаметръ въ дюйм.	Поперечное сѣченіе въ квадр. футахъ.	Количество воды, протекающей.		Внутренній діаметръ въ дюйм.	Поперечное сѣченіе въ квадр. футахъ.	Количество воды, протекающей	
		въ секунду куб. футъ.	въ сутки въ кругл. числ. куб. фут.			въ секунду куб. футъ.	въ сутки въ кругл. числ. куб. фут.
1″	0,00544	0,0163	1.370	13″	0,9217	2,7651	240.000
2″	0,02175	0,0652	5.500	14″	1,0690	3,2070	290.000
3″	0,0491	0,1473	12.000	16″	1,3546	4,0638	350.000
4″	0,0871	0,2613	22.000	17″	1,5762	4,7286	410.000
5″	0,1363	0,4089	35.000	19″	1,9689	5,9067	500.000
6″	0,1963	0,5889	50.000	20″	2,1818	6,5454	560.000
7″	0,2669	0,8007	73.000	22″	2,6400	7,9200	650.000
8″	0,3483	1,0449	88.000	23″	2,8852	8,6556	747.000
9″	0,4418	1,3254	110.000	24″	3,1416	9,4248	800.000
10″	0,5451	1,6353	140.000	30″	4,9087	14,7261	1.270.000
11″	0,6604	1,9812	164.000	36″	7,0686	21,2058	1.800.000
12″	0,7854	2,3562	200.000				

Вообще для водопроводовъ при среднемъ состоянiи ухода и загрязненія допускаютъ потерю напора большей величины, чѣмъ величины ζ приведенныя выше.

в) Формула Прони. По Прони потеря напора на погонный метръ длины водопровода есть:

(3) $i = \frac{4}{d}(av + bv^2)$, а на длинѣ l будетъ $h_l = \frac{4l}{d}(av + bv^2)$.

при слѣдующихъ коэффиціентахъ: $a = 0{,}00001733$; $b = 0{,}0003483$. отсюда для опредѣленія средней скорости v, съ какою вода вытекаетъ изъ водопровода при данномъ напорѣ i на погонный метръ, имѣемъ:

(4) $$v = 26{,}79 \sqrt{\frac{dh_l}{l}} - 0{,}025 = 53{,}58 \sqrt{\frac{di}{4}} - 0{,}025.$$

Для болѣе удобнаго вычисленія этой потери напора нижеслѣдующая таблица на стр. 307 до 325 даетъ вычисленныя величины этой потери при разныхъ скоростяхъ v и для разныхъ количествъ воды и трубопроводовъ. Таблица обнимаетъ большую часть встрѣчающихся въ практикѣ случаевъ и условій и тогда употребляется съ выгодою, когда требуется быстро выбрать размѣры для даннаго случая. Для болѣе же точнаго вычисленія служатъ позднѣе приводимыя данныя.

Таблица потери напора воды въ трубахъ по Прони.

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,05 м. площадь 0,0019635 кв. м.		Діаметръ трубы 0,06 м. площадь 0,00282744 кв. м.		Діаметръ трубы 0,07 м. площадь 0,00384846 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,050	0,0098	0,000 007 62	0,0141	0,000 006 35	0,0192	0,000 005 44
0,01	0,0196	0,000 016 66	0,0283	0,000 013 88	0,0385	0,000 011 90
0,02	0,0393	0,000 038 88	0,0565	0,000 032 40	0,0770	0,000 027 77
0,03	0,0589	0,000 066 68	0,0848	0,000 055 57	0,1155	0,000 047 63
0,04	0,0785	0,000 100 04	0,1131	0,000 083 37	0,1539	0,000 071 46
0,05	0,0982	0,000 138 98	0,1414	0,000 115 82	0,1924	0,000 099 27
0,06	0,1178	0,000 183 48	0,1696	0,000 152 90	0,2309	0,000 131 06
0,07	0,1374	0 000 233 58	0,1979	0,000 194 65	0,2694	0,000 166 84
0,08	0,1571	0,000 289 22	0,2262	0,000 241 02	0,3079	0,000 206 59
0,09	0,1767	0,000 350 46	0,2545	0,000 292 05	0,3464	0,000 250 33
0,10	0,1963	0,000 417 26	0,2827	0,000 347 72	0,3848	0,000 298 04
0,11	0,2160	0,000 489 64	0,3110	0,000 408 03	0,4233	0,000 349 74
0,12	0,2356	0,000 567 58	0,3393	0,000 472 98	0,4618	0,000 405 41
0,13	0,2532	0,000 651 10	0,3676	0,000 542 58	0,5003	0,000 465 07
0,14	0,2740	0,000 740 18	0,3958	0,000 616 82	0,5388	0,000 528 70
0,15	0,2945	0,000 834 84	0,4241	0,000 695 70	0,5773	0,000 596 31
0,16	0,3142	0,000 935 08	0,4524	0,000 779 23	0,6158	0,000 667 91
0,17	0,3338	0,001 040 88	0,4807	0,000 867 40	0,6542	0,000 743 49
0,18	0,3534	0,001 152 26	0,5089	0,000 960 22	0,6927	0,000 823 04
0,19	0,3731	0,001 269 20	0,5372	0,001 057 67	0,7312	0,000 906 57
0,20	0,3927	0,001 391 74	0,5655	0,001 159 78	0,7697	0,000 994 10
0,22	0,4320	0,001 653 50	0,6220	0,001 377 92	0,8467	0,001 181 07
0,25	0,4909	0,002 087 92	0,7069	0,001 739 93	0,9621	0,001 491 37
0,28	0,5498	0,002 572 50	0,7917	0,002 143 75	1,0775	0,001 837 50
0,30	0 5890	0,002 923 42	0,8482	0,002 436 18	1,1545	0,002 088 16
0,32	0,6283	0,003 296 62	0,9048	0,002 747 18	1,2315	0,002 354 73
0,35	0,6872	0 003 898 22	0,9896	0,003 248 52	1,3470	0,002 784 44
0,38	0,7461	0,004 549 96	1,0744	0,003 791 63	1,4624	0,0 3 249 97
0,40	0,7854	0,005 012 32	1,1310	0,004 176 93	1,5394	0,003 580 23
0,42	0,8247	0,005 496 96	1,1875	0,004 580 80	1,6164	0,003 926 40
0,45	0,8836	0,006 265 72	1,2723	0,005 221 43	1,7318	0,004 475 51
0,48	0,9425	0,007 084 64	1,3572	0,005 903 87	1,8473	0,005 060 46
0,50	0,9817	0,007 658 44	1,4137	0,006 382 03	1,9242	0,005 470 31
0,55	1,0799	0,009 190 44	1,5551	0,007 658 70	2,1166	0,006 564 60
0,60	1,1781	0,010 861 76	1,6965	0,009 051 47	2,3091	0,007 758 40
0,65	1,2763	0,012 672 38	1,8378	0,010 560 32	2,5015	0,009 051 70
0,70	1,3744	0,014 622 32	1,9792	0,012 185 27	2,6939	0,010 444 51
0,75	1,4726	0,016 711 54	2,1206	0,013 926 28	2,8863	0,011 936 81
0,80	1,5708	0,018 940 08	2,2619	0,015 783 40	3,0788	0,013 528 63
0,85	1,6690	0,021 307 90	2,4033	0,017 756 58	3,2712	0,015 219 93
0,90	1,7671	0,023 815 04	2,5447	0,019 845 87	3,4636	0,017 010 74

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,05 м. площадь 0,0019635 кв. м.		Діаметръ трубы 0,06 м. площадь 0,00282744 кв. м.		Діаметръ трубы 0,07 м. площадь 0,00384844 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,95	1,8653	0,026 461 48	2,6861	0,022 05 23	3,6560	0,018 901 06
1,00	1,9635	0,029 247 24	2,8274	0,024 372 70	3,8484	0,020 890 59
1,05	2,0617	0,032 172 28	2,9688	0,026 810 23	4,0409	0,022 980 20
1,10	2,1598	0,035 236 64	3,1102	0,029 363 87	4,2333	0,025 169 03
1,15	2,2580	0,038 440 30	3,2516	0,032 033 58	4,4257	0,027 457 36
1,20	2,3562	0,041 783 26	3,3929	0,034 819 38	4,6181	0,029 845 19
1,25	2,4544	0,045 265 52	3,5343	0,037 721 27	4,8105	0,032 332 51
1,30	2,5525	0,048 887 08	3,6757	0,040 739 23	5,0030	0,034 919 34
1,35	2,6507	0,052 647 96	3,8170	0,043 873 30	5,1954	0,037 605 69
1,40	2,7489	0,056 548 12	3,9584	0,047 123 43	5,3878	0,040 391 51
1,45	2,8471	0,060 587 60	4,0998	0,050 489 67	5,5802	0,043 276 86
1,50	2,9452	0,064 766 38	4,2412	0,053 971 98	5,7727	0,046 261 70
1,55	3,0434	0,069 084 48	4,3825	0,057 570 40	5,9651	0,049 346 06
1,60	3,1416	0,073 541 86	4,5239	0,061 284 88	6,1575	0,052 529 90
1,65	3,2397	0,078 138 56	4,6653	0,065 115 47	6,3499	0,055 813 26
1,70	3,3379	0,082 874 56	4,8066	0,069 062 13	6,5424	0,059 196 11
1,75	3,4361	0,087 749 86	4,9480	0,073 124 88	6,7348	0,062 678 47
1,80	3,5343	0,092 764 46	5,0894	0,077 303 72	6,9272	0,066 260 33
1,85	3,6324	0,097 918 36	5,2308	0,081 598 63	7,1196	0,069 941 69
1,90	3,7306	0,103 211 58	5,3721	0,086 009 65	7,3120	0,073 722 56
1,95	3,8288	0,108 644 08	5,5135	0,090 536 73	7,5045	0,077 602 91
2,00	3,9270	0,114 215 90	5,6549	0,095 179 92	7,6969	0,081 582 79
2,05	4,0251	0,119 927 02	5,7963	0,099 939 18	7,8896	0,085 662 16
2,10	4,1233	0,125 777 46	5,9376	0,104 814 55	8,0817	0,089 841 04
2,15	4,2215	0,131 767 18	6,0790	0,109 805 98	8,2741	0,094 119 41
2,20	4,3197	0,137 896 22	6,2204	0,114 913 52	8,4666	0,098 497 30
2,25	4,4179	0,144 164 54	6,3617	0,120 137 12	8,6590	0,102 974 67
2,30	4,5160	0,150 572 18	6,5031	0,125 476 82	8,8514	0,107 551 56
2,35	4,6142	0,157 119 12	6,6445	0,130 932 60	9,0438	0,112 227 94
2,40	4,7124	0,163 805 38	6,7859	0,136 504 48	9,2362	0,117 003 84
2,45	4,8106	0,170 630 92	6,9272	0,142 192 43	9,4287	0,121 879 23
2,50	4,9087	0,177 595 78	7,0686	0,147 996 48	9,6211	0,126 854 13
2,55	5,0070	0,184 699 94	7,2100	0,153 916 62	9,8135	0,131 928 53
2,60	5,1051	0,191 943 40	7,3513	0,159 952 83	10,0060	0,137 102 43
2,65	5,2032	0,199 326 16	7,4927	0,166 105 13	10,1984	0,142 375 83
2,70	5,3014	0,206 848 24	7,6341	0,172 373 53	10,3908	0,147 748 74
2,75	5,3996	0,214 509 60	7,7755	0,178 758 00	10,5832	0,153 221 14
2,80	5,4978	0,222 310 28	7,9168	0,185 258 57	10,7757	0,158 793 06
2,85	5,5960	0,230 250 26	8,0582	0,191 875 22	10,9681	0,164 464 47
2,90	5,6942	0,238 329 56	8,1996	0,198 607 97	11,1605	0,170 235 40
2,95	5,7923	0,246 548 14	8,3409	0,205 456 78	11,3529	0,176 105 81
3,00	5,8905	0,254 906 04	8,4823	0,212 421 70	11,5454	0,182 075 74

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,08 м площадь 0,00502656 кв. м.		Діаметръ трубы 0,09 м. площадь 0,00636174 кв. м.		Діаметръ трубы 0,10 м. площадь 0,007854 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,005	0,0251	0,000 004 76	0,0318	0,000 004 23	0,0393	0,000 003 81
0,01	0,0503	0,000 010 41	0,0636	0,000 009 26	0,0785	0,000 008 33
0,02	0,1005	0,000 024 30	0,1272	0,000 021 60	0,1571	0,000 019 44
0,03	0,1508	0,000 041 68	0,1908	0,000 037 05	0,2356	0,000 033 34
0,04	0,2011	0,000 062 53	0,2545	0,000 055 58	0,3142	0,000 050 02
0,05	0,2513	0,000 086 86	0,3181	0,000 077 21	0,3927	0,000 069 49
0,06	0,3016	0,000 114 68	0,3817	0,000 101 93	0,4712	0,000 091 74
0,07	0,3519	0,000 145 99	0,4453	0,000 129 77	0,5498	0,000 116 79
0,08	0,4021	0,000 180 76	0,5089	0,000 160 68	0,6283	0,000 144 61
0,09	0,4524	0,000 219 04	0,5726	0,000 194 70	0,7069	0,000 175 2
0,10	0,5027	0,000 260 79	0,6362	0,000 231 81	0,7854	0,000 208 63
0,11	0,5529	0,000 306 03	0,6998	0,000 272 02	0,8639	0,000 244 82
0,12	0,6032	0,000 354 74	0,7634	0,000 315 32	0,9425	0,000 283 79
0,13	0,6535	0,000 406 94	0,8270	0,000 361 72	1,0210	0,000 325 55
0,14	0,7037	0,000 462 61	0,8906	0,000 411 21	1,0996	0,000 370 09
0,15	0,7540	0,000 521 78	0,9543	0,000 463 80	1,1781	0,000 417 42
0,16	0,8042	0,000 584 43	1,0179	0,000 519 49	1,2566	0,000 467 54
0,17	0,8545	0,000 650 55	1,0815	0,000 578 27	1,3352	0,000 520 44
0,18	0,9048	0,000 720 16	1,1451	0,000 640 15	1,4137	0,000 576 13
0,19	0,9550	0,000 793 25	1,2087	0,000 705 11	1,4923	0,000 634 60
0,20	1,0053	0,000 869 84	1,2723	0,000 773 19	1,5708	0,000 695 87
0,22	1,1058	0,001 033 44	1,3996	0,000 918 61	1,7278	0,000 826 75
0,25	1,2566	0,001 504 95	1,5904	0,000 159 96	1,9635	0,001 043 96
0,28	1,4074	0,001 607 81	1,7813	0,001 429 17	2,1992	0,001 286 25
0,30	1,5080	0,001 827 14	1,9085	0,001 624 12	2,3562	0,001 461 71
0,32	1,6085	0,002 060 39	2,0357	0,001 831 46	2,5132	0,001 648 31
0,35	1,7593	0,002 436 39	2,2266	0,002 165 68	2,7489	0,001 949 11
0,38	1,9100	0,002 843 73	2,4175	0,002 527 76	2,9846	0,002 274 98
0,40	2,0106	0,003 132 70	2,5447	0,002 784 62	3,1416	0,002 506 16
0,42	2,1111	0,003 435 60	2,6719	0,003 053 87	3,2986	0,002 748 48
0,45	2,2620	0,003 916 08	2,8628	0,003 480 96	3,5343	0,003 132 86
0,48	2,4127	0,004 427 90	3,0536	0,003 935 91	3,7700	0,003 542 32
0,50	2,5133	0,004 786 53	3,1809	0,004 254 69	3,9270	0,003 829 22
0,55	2,7646	0,005 744 03	3,4989	0,005 105 80	4,3197	0,004 595 22
0,60	3,0159	0,006 788 60	3,8170	0,006 034 37	4,7124	0,005 430 88
0,65	3,2672	0,007 920 24	4,1351	0,007 040 21	5,1051	0,006 336 19
0,70	3,5186	0,009 138 95	4,4532	0,008 123 51	5,4978	0,007 311 16
0,75	3,7699	0,010 444 71	4,7713	0,009 284 19	5,8905	0,008 355 77
0,80	4,0212	0,011 837 55	5,0894	0,010 522 27	6,2832	0,009 470 04
0,85	4,2726	0,013 317 44	5,4075	0,011 837 72	6,6759	0,010 653 95
0,90	4,5239	0,014 884 40	5,7255	0,013 230 58	7,0686	0,011 907 52

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,08 м. площадь 0,00502656 кв. м.		Діаметръ трубы 0,09 м. площадь 0,00636174 кв. м.		Діаметръ трубы 0,10 м. площадь 0,007854 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,95	4,7752	0,016 538 53	6,0436	0,014 700 82	7,4613	0,013 230 74
1,00	5,0266	0,018 279 68	6,3617	0,016 248 47	7,8540	0,014 623 62
1,05	5,2779	0,020 107 90	6,6798	0,017 873 49	8,2467	0,016 086 14
1,10	5,5292	0,022 022 19	6,9979	0,019 575 91	8,6394	0,017 618 32
1,15	5,7805	0,024 025 43	7,3160	0,021 355 72	9,0321	0,019 220 15
1,20	6,0319	0,026 114 54	7,6341	0,023 212 92	9,4248	0,020 891 63
1,25	6,2832	0,028 290 95	7,9522	0,025 147 51	9,8175	0,022 632 76
1,30	6,5345	0,030 554 43	8,2702	0,027 159 49	10,2102	0,024 443 54
1,35	6,7858	0,032 904 98	8,5883	0,029 248 87	10,6029	0,026 323 98
1,40	7,0372	0,035 342 58	8,9064	0,031 415 62	10,9956	0,028 274 06
1,45	7,2885	0,037 867 25	9,2245	0,033 659 78	11,3883	0,030 293 80
1,50	7,5398	0,040 478 99	9,5426	0,035 981 32	11,7810	0,032 383 19
1,55	7,7911	0,043 177 80	9,8607	0,038 380 27	12,1737	0,034 542 24
1,60	8,0425	0,045 963 66	10,1788	0,040 856 59	12,5664	0,036 770 93
1,65	8,2937	0,048 836 60	10,4968	0,043 410 31	12,9591	0,039 069 28
1,70	8,5451	0,051 796 60	10,8149	0,046 041 42	13,3518	0,041 437 28
1,75	8,7965	0,054 843 66	11,1330	0,048 749 92	13,7445	0,043 874 93
1,80	9,0478	0,057 977 79	11,4511	0,051 535 81	14,1372	0,046 382 23
1,85	9,2991	0,061 198 98	11,7692	0,054 399 09	14,5299	0,048 959 18
1,90	9,5505	0,064 507 24	12,0873	0,057 339 77	14,9226	0,051 605 79
1,95	9,8018	0,067 902 55	12,4053	0,060 357 82	15,3153	0,054 322 04
2,00	10,0531	0,071 384 94	12,7234	0,063 453 28	15,7081	0,057 107 95
2,05	10,3044	0,074 954 39	13,0415	0,066 626 12	16,1007	0,059 963 51
2,10	10,5558	0,078 610 91	13,3596	0,069 876 37	16,4934	0,062 888 73
2,15	10,8071	0,082 354 49	13,6777	0,073 203 99	16,8861	0,065 883 59
2,20	11,0584	0,086 185 14	13,9958	0,076 609 01	17,2788	0,068 948 11
2,25	11,3079	0,090 102 84	14,3139	0,080 091 41	17,6715	0,072 082 27
2,30	11,5610	0,094 107 61	14,6320	0,083 651 21	18,0642	0,075 286 09
2,35	11,8124	0,098 199 45	14,9501	0,087 288 40	18,4569	0,078 559 56
2,40	12,0637	0,102 378 36	15,2682	0,091 002 99	18,8496	0,081 902 69
2,45	12,3150	0,106 644 33	15,5862	0,094 794 96	19,2423	0,085 315 46
2,50	12,5664	0,110 997 36	15,9043	0,098 664 32	19,6350	0,088 797 89
2,55	12,8177	0,115 437 46	16,2224	0,102 611 08	20,0277	0,092 349 97
2,60	13,0690	0,119 964 63	16,5405	0,106 635 22	20,4204	0,095 971 70
2,65	13,3203	0,124 578 85	16,8586	0,110 736 76	20,8131	0,099 663 08
2,70	13,5717	0,129 280 15	17,1766	0,114 915 69	21,2058	0,103 424 12
2,75	13,8230	0,134 068 50	17,4947	0,119 172 00	21,5985	0,107 254 80
2,80	14,0743	0,138 943 93	17,8128	0,123 505 71	21,9912	0,111 155 14
2,85	14,3256	0,143 906 41	18,1309	0,127 916 81	22,3839	0,115 125 1[illegible]
2,90	14,5770	0,148 955 98	18,4490	0,132 405 31	22,7766	0,119 164 78
2,95	14,8283	0,154 092 59	18,7671	0,136 971 19	23,1399	0,123 274 07
3,00	15,0797	0,159 316 28	19,0852	0,141 614 47	23,5620	0,127 453 02

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,11 м. площадь 0,00950334 кв. м.		Діаметръ трубы 0,12 м. площадь 0,01130976 кв. м.		Діаметръ трубы 0 14 м. площадь 0,01539384 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,01	0,0950	0,000 007 57	0,1131	0,000 006 94	0,1539	0,000 005 95
0,02	0,1901	0,000 017 67	0,2262	0,000 016 20	0,3079	0,000 013 89
0,03	0,2851	0,000 030 31	0,3393	0,000 027 79	0,4618	0,000 023 82
0,04	0,3801	0,000 045 47	0,4524	0,000 041 69	0,6158	0,000 035 73
0,05	0,4752	0,000 063 17	0,5655	0,000 057 91	0,7697	0,000 049 64
0,06	0,5702	0,000 083 40	0,6786	0,000 076 45	0,9236	0,000 065 53
0,07	0,6652	0,000 106 17	0,7917	0,000 097 33	1,0776	0,000 083 42
0,08	0,7603	0,000 131 46	0,9048	0,000 120 51	1,2315	0,000 103 30
0,09	0,8553	0,000 159 30	1,0179	0,000 146 03	1,3854	0,000 125 17
0,10	0,9503	0,000 189 66	1,1310	0,000 173 86	1,5394	0,000 149 02
0,11	1,0454	0,000 222 56	1,2441	0,000 204 02	1,6933	0,000 174 87
0,12	1,1404	0,000 257 99	1,3572	0,000 236 49	1,8473	0,000 202 71
0,13	1,2354	0,000 295 95	1,4703	0,000 271 29	2,0012	0,000 232 54
0,14	1,3305	0,000 336 45	1,5834	0,000 308 41	2,1551	0,000 264 35
0,15	1,4255	0,000 379 47	1,6965	0,000 347 85	2,3091	0,000 298 16
0,16	1,5205	0,000 425 04	1,8096	0,000 389 61	2,4630	0,000 333 96
0,17	1,6156	0,000 473 13	1,9227	0,000 433 70	2,6169	0,000 371 75
0,18	1,7106	0,000 523 75	2,0358	0,000 480 11	2,7709	0,000 411 52
0,19	1,8056	0,000 576 91	2,1489	0,000 528 84	2,9248	0,000 453 28
0,20	1,9007	0,000 632 61	2,2620	0,000 579 89	3,0788	0,000 497 15
0,22	2,0907	0,000 751 59	2,4881	0,000 688 96	3,3866	0,000 590 54
0,25	2,3758	0,000 949 05	2,8274	0,000 869 97	3,8485	0,000 745 69
0,28	2,6609	0,001 169 32	3,1667	0,001 071 88	4,3103	0,000 918 75
0,30	2,8510	0,001 328 83	3,3929	0,001 218 09	4,6182	0,001 044 08
0,32	3,0411	0,001 498 46	3,6191	0,001 373 59	4,9260	0,001 177 37
0,35	3,3262	0,001 771 92	3,9584	0,001 624 26	5,3878	0,001 392 22
0,38	3,6113	0,002 068 16	4,2977	0,001 895 82	5,8497	0,001 624 99
0,40	3,8013	0,002 278 33	4,5239	0,002 088 47	6,1575	0,001 790 12
0,42	3,9914	0,002 498 62	4,7501	0,002 290 40	6,4654	0,001 963 20
0,45	4,2765	0,002 848 05	5,0894	0,002 610 72	6,9272	0,002 237 76
0,48	4,5616	0,003 220 29	5,4287	0,002 951 94	7,3890	0,002 530 23
0,50	4,7517	0,003 481 11	5,6549	0,003 191 02	7,6969	0,002 735 16
0,55	5,2268	0,004 177 47	6,2204	0,003 829 35	8,4666	0,003 282 30
0,60	5,7020	0,004 937 16	6,7859	0,004 525 74	9,2363	0,003 879 20
0,65	6,1772	0,005 760 17	7,3513	0,005 280 16	10,0060	0,004 525 85
0,70	6,6523	0,006 646 51	7,9168	0,006 092 64	10,7757	0,005 222 26
0,75	7,1275	0,007 596 15	8,4823	0,006 963 14	11,5454	0,005 968 41
0,80	7,6027	0,008 609 13	9,0478	0,007 891 70	12,3151	0,006 764 32
0,85	8,0778	0,009 685 41	9,6133	0,008 878 29	13,0848	0,007 609 97
0,90	8,5530	0,010 825 02	10,1788	0,009 922 93	13,8545	0,008 505 37
0,95	9,0282	0,012 027 95	10,7443	0,011 025 62	14,6242	0,009 450 53

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,11 м. площадь 0,00950334 кв. м.		Діаметръ трубы 0,12 м. площадь 0,01130976 кв. м.		Діаметръ трубы 0,14 м. площадь 0,01539384 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
1,00	9,5033	0,013 294 20	11,3089	0,012 186 35	15,3938	0,010 445 45
1,05	9,9780	0,014 623 76	11,8753	0,013 405 12	16,1635	0,011 490 10
1,10	10,4537	0,016 016 65	12,4407	0,014 681 94	16,9332	0,012 584 52
1,15	10,9288	0,017 472 86	13,0062	0,016 016 79	17,7029	0,013 728 68
1,20	11,4040	0,018 992 39	13,5717	0,017 409 69	18,4726	0,014 922 59
1,25	11,8792	0,020 575 24	14,1372	0,018 860 64	19,2423	0,016 166 26
1,30	12,3543	0,022 221 40	14,7027	0,020 369 62	20,0120	0,017 459 67
1,35	12,8295	0,023 930 89	15,2682	0,021 936 65	20,7817	0,018 802 85
1,40	13,3047	0,025 703 69	15,8337	0,023 561 72	21,5514	0,020 195 76
1,45	13,7798	0,027 539 82	16,3992	0,025 244 84	22,3211	0,021 638 43
1,50	14,2550	0,029 439 26	16,9646	0,026 985 99	23,0908	0,023 130 85
1,55	14,7302	0,031 402 04	17,5301	0,028 785 20	23,8604	0,024 673 03
1,60	15,2053	0,033 428 12	18,0956	0,030 642 44	24,6301	0,026 264 95
1,65	15,6805	0,035 517 53	18,6611	0,032 557 74	25,3998	0,027 906 63
1,70	16,1557	0,037 670 25	19,2266	0,034 531 07	26,1695	0,029 598 06
1,75	16,6308	0,039 886 30	19,7921	0,036 562 44	26,9392	0,031 339 24
1,80	17,1060	0,042 165 66	20,3576	0,038 651 86	27,7089	0,033 130 17
1,85	17,5812	0,044 508 35	20,9231	0,040 799 32	28,4786	0,034 970 85
1,90	18,0563	0,046 914 35	21,4885	0,043 004 83	29,2483	0,036 861 28
1,95	18,5310	0 049 383 67	22,0540	0,045 268 37	30,0180	0,038 801 46
2,00	19,0067	0,051 916 32	22,6195	0,047 589 96	30,7877	0,040 791 40
2,05	19,4818	0,054 512 28	23,1850	0,049 969 59	31,5574	0,042 831 08
2,10	19,9570	0,057 171 57	23,7505	0,052 407 28	32,3271	0,044 920 52
2,15	20,4322	0 049 894 17	24,3160	0,054 902 99	33,0968	0,047 059 71
2,20	20,9073	0,032 680 10	24,8815	0,057 456 76	33,8664	0,049 248 65
2,25	21,3825	0,065 529 34	25,4470	0,060 068 56	34,6361	0,051 487 34
2,30	21,8577	0,068 441 90	26,0124	0,062 738 41	35,4058	0,053 775 78
2,35	22,3328	0,071 417 78	26,5779	0,065 466 30	36,1755	0,056 113 97
2,40	22,8080	0,074 456 99	27,1434	0,068 252 24	36,9452	0,058 501 92
2,45	23,2832	0,077 559 51	27,7089	0,071 096 22	37,7149	0,060 939 62
2,50	23,7583	0,080 725 35	28,2744	0,073 998 24	38,4846	0,063 427 07
2,55	24,2335	0,083 954 52	28,8399	0,076 958 31	39,2543	0,065 964 27
2,60	24,7087	0,087 247 00	29,4054	0,079 976 42	40,0240	0,068 551 22
2,65	25,1839	0,090 602 80	29,9709	0,083 052 57	40,7937	0,071 187 92
2,70	25,6590	0,094 021 93	30,5364	0,086 186 77	41,5634	0,073 874 37
2,75	26,1342	0,097 504 36	31,1018	0,089 379 00	42,3331	0,076 610 57
2,80	26,6094	0,101 050 13	31,6673	0,092 629 29	43,1027	0,079 396 53
2,85	27,0845	0,104 659 21	32,2328	0,095 937 61	43,8724	0,082 232 24
2,90	27,5597	0,108 331 62	32,7983	0,099 303 99	44,6421	0,085 117 70
2,95	28,0349	0,112 067 34	33,3638	0,102 728 39	45,4118	0,088 052 91
3,00	28,5100	0,115 866 38	33,9293	0,106 210 85	46,1815	0,091 037 87

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,15 м. площадь 0,0176715 кв. м.		Діаметръ трубы 0,16 м. площадь 0,02010624 кв. м.		Діаметръ трубы 0,18 м. площадь 0,02544696 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,01	0,1767	0,000 005 55	0,2011	0,000 005 21	0,2545	0,000 004 63
0,02	0,3534	0,000 012 96	0,4021	0,000 012 15	0,5089	0,000 010 80
0,03	0,5301	0,000 022 23	0,6032	0,000 020 84	0,7634	0,000 018 53
0,04	0,7069	0,000 033 35	0,8042	0,000 031 27	1,0179	0,000 027 79
0,05	0,8836	0,000 046 33	1,0053	0,000 043 43	1,2723	0,000 038 61
0,06	1,0603	0,000 061 16	1,2064	0,000 057 34	1,5268	0,000 050 97
0,07	1,2370	0,000 077 86	1,4074	0,000 073 00	1,7813	0,000 064 89
0,08	1,4137	0,000 096 41	1,6085	0,000 090 38	2,0358	0,000 080 34
0,09	1,5904	0,000 116 82	1,8096	0,000 109 52	2,2902	0,000 097 35
0,10	1,7671	0,000 139 09	2,0106	0,000 130 40	2,5447	0,000 115 91
0,11	1,9439	0,000 163 21	2,2117	0,000 153 02	2,7992	0,000 136 01
0,12	2,1206	0,000 189 19	2,4127	0,000 177 37	3,0536	0,000 157 66
0,13	2,2973	0,000 217 03	2,6138	0,000 203 47	3,3081	0,000 180 86
0,14	2,4740	0,000 246 73	2,8149	0,000 231 31	3,5626	0,000 205 61
0,15	2,6507	0,000 278 28	3,0159	0,000 260 89	3,8170	0,000 231 90
0,16	2,8274	0,000 311 69	3,2170	0,000 292 22	4,0715	0,000 259 75
0,17	3,0042	0,000 346 96	3,4181	0,000 325 28	4,3260	0,000 289 14
0,18	3,1809	0,000 384 09	3,6191	0,000 360 08	4,5805	0,000 320 08
0,19	3,3576	0,000 423 07	3,8202	0,000 396 63	4,8349	0,000 352 56
0,20	3,5343	0,000 463 91	4,0212	0,000 434 92	5,0894	0,000 386 60
0,22	3,8877	0,000 551 17	4,4234	0,000 516 72	5,5983	0,000 459 31
0,25	4,4179	0,000 695 97	5,0266	0,000 652 48	6,3617	0,000 579 98
0,28	4,9480	0,000 857 50	5,6297	0,000 803 91	7,1251	0,000 714 59
0,30	5,3014	0,000 974 47	6,0319	0,000 913 57	7,6341	0,000 812 06
0,32	5,6549	0,001 098 87	6,4340	0,001 030 20	8,1430	0,000 915 73
0,35	6,1850	0,001 299 41	7,0372	0,001 218 20	8,9064	0,001 082 84
0,38	6,7152	0,001 516 65	7,6404	0,001 421 87	9,6698	0,001 263 88
0,40	7,0686	0,001 670 77	8,0425	0,001 566 35	10,1788	0,001 392 31
0,42	7,4220	0,001 832 32	8,4446	0,001 717 80	10,6877	0,001 526 94
0,45	7,9522	0,002 088 57	9,0478	0,001 958 04	11,4511	0,001 740 48
0,48	8,4823	0,002 361 55	9,6510	0,002 213 95	12,2145	0,001 967 96
0,50	8,8357	0,002 552 81	10,0531	0,002 393 27	12,7235	0,002 127 35
0,55	9,7193	0,003 063 48	11,0584	0,002 872 02	13,9953	0,002 552 90
0,60	10,6029	0,003 620 59	12,0637	0,003 394 30	15,2682	0,003 017 16
0,65	11,4865	0,004 224 13	13,0690	0,003 960 12	16,5405	0,003 520 11
0,70	12,3700	0,004 874 11	14,0744	0,004 569 48	17,8129	0,004 061 76
0,75	13,2536	0,005 570 51	15,0797	0,005 222 36	19,0852	0,004 642 10
0,80	14,1372	0,006 313 36	16,0850	0,005 918 78	20,3576	0,005 261 14
0,85	15,0208	0,007 102 63	17,0903	0,006 658 72	21,6299	0,005 918 86
0,90	15,9043	0,007 938 35	18,0956	0,007 442 20	22,9023	0,006 615 29
0,95	16,7879	0,008 820 49	19,1009	0,008 269 22	24,1746	0,007 350 41

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,15 м. площадь 0,0176715 кв. м.		Діаметръ трубы 0,16 м. площадь 0,02010624 кв. м.		Діаметръ трубы 0,18 м. площадь 0,02544696 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
1,00	17,6715	0,009 749 08	20,1062	0,009 139 77	25,4470	0,008 124 24
1,05	18,5550	0,010 724 09	21,1115	0,010 053 84	26,7193	0,008 936 75
1,10	19,4386	0,011 745 55	22,1169	0,011 011 45	27,9917	0,009 787 96
1,15	20,3222	0,012 813 43	23,1222	0,012 012 60	29,2640	0,010 677 86
1,20	21,2058	0,013 927 75	24,1275	0,013 057 27	30,5364	0,011 606 46
1,25	22,0893	0,015 088 51	25,1328	0,014 145 48	31,8087	0,012 573 76
1,30	22,9729	0,016 295 69	26,1381	0,015 277 22	33,0810	0,013 579 75
1,35	23,8565	0,017 549 32	27,1434	0,016 452 49	33,3534	0,014 624 44
1,40	24,7401	0,018 849 37	28,1487	0,017 671 29	35,6257	0,015 707 81
1,45	25,6237	0,020 195 87	29,1540	0,018 933 63	36,8981	0,016 829 89
1,50	26,5072	0,021 588 79	30,1594	0,020 239 50	38,1704	0,017 990 66
1,55	27,3908	0,023 028 16	31,1647	0,021 588 90	39,4428	0,019 190 13
1,60	28,2744	0,024 513 95	32,1700	0,022 981 83	40,7151	0,020 428 30
1,65	29,1580	0,025 046 19	33,1753	0,024 418 30	41,9875	0,021 705 16
1,70	30,0415	0,027 624 85	34,1806	0,025 898 30	43,2598	0,023 020 71
1,75	30,9251	0,029 249 95	35,1859	0,027 421 83	44,5322	0,024 374 96
1,80	31,8087	0,030 921 49	36,1912	0,028 988 90	45,8045	0,025 767 91
1,85	32,6922	0,032 639 45	37,1965	0,030 599 49	47,0769	0,027 199 55
1,90	33,5758	0,034 403 86	38,2019	0,032 253 62	48,3492	0,028 669 89
1,95	34,4594	0,036 214 69	39,2072	0,033 951 28	49,6216	0,030 178 91
2,00	35,3430	0,038 071 97	40,2125	0,035 692 47	50,8939	0,031 726 64
2,05	36,2265	0,039 975 67	41,2178	0,037 477 40	52,1663	0,033 313 06
2,10	37,1101	0,041 925 82	42,2231	0,039 305 46	53,4386	0,034 938 19
2,15	37,9937	0,043 922 39	43,2284	0,041 177 25	54,7110	0,036 602 00
2,20	38,8772	0,045 965 41	44,2337	0 043 092 57	55,9833	0,038 304 51
2,25	39,7608	0,048 054 85	45,2390	0,045 051 42	57,2557	0,040 045 71
2,30	40,6444	0,050 190 73	46,2443	0,047 053 81	58,5280	0,041 825 61
2,35	41,5279	0,052 373 04	47,2496	0,049 099 73	59,8004	0,043 644 20
2,40	42,4115	0,054 601 79	48,2550	0,051 189 18	61,0727	0,045 501 50
2,45	43,2951	0,056 876 97	49,2603	0,053 322 17	62,3451	0,047 397 48
2,50	44,1787	0,059 198 59	50,2656	0,055 498 68	63,6174	0,049 332 16
2,55	45,0623	0,061 566 65	51,2709	0,057 718 73	64,8897	0,051 305 54
2,60	45,9458	0,063 981 13	52,2762	0,059 982 32	66,1620	0,053 317 61
2,65	46,8294	0,066 442 05	53,2815	0,062 289 43	67,4344	0,055 368 38
2,70	47,7130	0,068 949 41	54,2868	0,064 640 08	68,7068	0,057 457 85
2,75	48,5966	0,071 503 20	55,2921	0,067 034 25	69,9791	0,059 586 00
2,80	49,4802	0,074 103 43	56,2975	0,069 471 97	71,2515	0,061 752 86
2,85	50,3637	0,076 750 09	57,3028	0,071 953 21	72,5238	0,063 958 41
2,90	51,2473	0,079 443 19	58,3081	0,074 477 99	73,7962	0,066 202 66
2,95	52,1309	0,082 182 71	59,3135	0,077 046 30	75,0685	0,068 485 60
3,00	53,0145	0,084 968 68	60,3187	0,079 658 14	76,3409	0,070 807 24

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,20 м. площадь 0,031416 кв. м.		Діаметръ трубы 0,22 м. площадь 0,03801336 кв. м.		Діаметръ трубы 0,24 м. площадь 0,04523904 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,01	0,3142	0,000 004 17	0,3801	0,000 003 79	0,4524	0,000 003 47
0,02	0,6283	0,000 009.72	0,7603	0,000 008 84	0,9048	0,000 008 10
0,03	0,9425	0,000 016 67	1,1404	0,000 015 16	1,3572	0,000 013 90
0,04	1,2566	0,000 025 01	1,5205	0,000 022 74	1,8096	0,000 020 85
0,05	1,5708	0,000 034 75	1,9007	0,000 031 59	2,2619	0,000 028 96
0,06	1,8850	0,000 045 87	2,2808	0,000 041 70	2,7143	0,000 038 23
0,07	2,1991	0,000 058 40	2,6609	0,000 053 09	3,1667	0,000 048 67
0,08	2,5133	0,000 072 31	3,0411	0,000 065 73	3,6191	0,000 060 26
0,09	2,8274	0,000 087 62	3,4212	0,000 079 65	4,0715	0,000 073 02
0,10	3,1416	0,000 104 32	3,8013	0,000 094 83	4,5239	0,000 086 93
0,11	3,4558	0,000 122 41	4,1815	0,000 111 28	4,9763	0,000 102 01
0,12	3,7699	0,000 141 90	4,5616	0,000 129 00	5,4287	0,000 118 25
0,13	4,0841	0,000 162 78	4,9417	0,000 147 98	5,8811	0,000 135 65
0,14	4,3982	0,000 185 05	5,3219	0,000 168 23	6,3335	0,000 154 21
0,15	4,7124	0,000 208 71	5,7020	0,000 189 74	6,7859	0,000 173 93
0,16	5,0265	0,000 233 77	6,0821	0,000 212 52	7,2382	0,000 194 81
0,17	5,3407	0,000 260 22	6,4623	0,000 236 57	7,6906	0,000 216 84
0,18	5,6549	0,000 288 07	6,8424	0,000 261 88	8,1430	0,000 240 06
0,19	5,9690	0,000 317 30	7,2225	0,000 288 46	8,5954	0,000 264 42
0,20	6,2832	0,000 347 94	7,6027	0,000 316 31	9,0478	0,000 289 95
0,22	6,9116	0,000 413 38	8,3629	0,000 375 80	9,9526	0,000 344 48
0,25	7,8540	0,000 521 98	9,5033	0,000 474 53	11,3098	0,000 434 99
0,28	8,7964	0,000 643 13	10,6437	0,000 584 66	12,6669	0,000 535 94
0,30	9,4248	0,000 730 86	11,4040	0,000 664 42	13,5717	0,000 609 05
0,32	10,0531	0,000 824 16	12,1643	0,000 749 23	14,4765	0,000 686 80
0,35	10,9956	0,000 974 56	13,3047	0,000 885 96	15,8337	0,000 812 13
0,38	11,9380	0,001 137 49	14,4450	0,001 034 08	17,1908	0,000 947 91
0,40	12,5664	0,001 253 08	15,2053	0,001 139 17	18,0956	0,001 044 24
0,42	13,1947	0,001 374 24	15,9656	0,001 249 31	19,0004	0,001 145 20
0,45	14,1372	0,001 566 43	17,1060	0,001 424 03	20,3576	0,001 305 36
0,48	15,0797	0,001 771 16	18,2464	0,001 610 15	21,7147	0,001 475 97
0,50	15,7080	0,001 914 61	19,0067	0,001 740 56	22,6195	0,001 595 51
0,55	17,2788	0,002 297 61	20,9073	0,002 088 74	24,8815	0,001 914 68
0,60	18,8496	0,002 715 44	22,8080	0,002 468 58	27,1434	0,002 262 87
0,65	20,4204	0,003 168 10	24,7087	0,002 880 09	29,4054	0,002 640 08
0,70	21,9912	0,003 655 58	26,6094	0,003 323 26	31,6673	0,003 046 32
0,75	23,5620	0,004 177 89	28,5100	0,003 798 08	33,9293	0,003 481 57
0,80	25,1328	0,004 735 02	30,4107	0,004 304 57	36,1912	0,003 945 85
0,85	26,7036	0,005 326 98	32,3114	0,004 842 71	38,4532	0,004 439 15
0,90	28,2744	0,005 953 76	34,2120	0,005 412 51	40,7151	0,004 961 47
0,95	29,8452	0,006 615 37	36,1127	0,006 013 98	42,9771	0,005 512 81

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,20 м. площадь 0,031416 кв. м.		Діаметръ трубы 0,22 м. площадь 0,03801336 кв. м.		Діаметръ трубы 0,24 м. площадь 0,04523904 кв м	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
1,00	31,4160	0,007 311 81	38,0134	0,006 647 10	45,2390	0,006 093 18
1,05	32,9868	0,008 043 07	39,9140	0,007 311 88	47,5010	0,006 702 56
1,10	34,5576	0,008 809 16	41,8147	0,008 008 33	49,7629	0,007 340 97
1,15	36,1284	0,009 610 08	43,7154	0,008 736 43	52,0249	0,008 008 40
1,20	37,6992	0,010 445 82	45,6160	0,009 496 20	54,2868	0,008 704 85
1,25	39,2700	0,011 316 38	47,5167	0,010 287 62	56,5488	0,009 430 32
1,30	40,8408	0,012 221 77	49,4174	0,011 110 70	58,8108	0,010 184 81
1,35	42,4116	0,013 161 99	51,3180	0,011 965 45	61,0727	0,010 968 33
1,40	43,9824	0,014 137 03	53,2187	0,012 851 85	63,3347	0,011 780 86
1,45	45,5532	0,015 146 90	55,1194	0,013 769 91	65,5966	0,012 622 42
1,50	47,1240	0,016 191 60	57,0200	0,014 719 63	67,8586	0,013 493 00
1,55	48,6948	0,017 271 12	58,9207	0,015 701 02	70,1205	0,014 392 60
1,60	50,2656	0,018 385 47	60,8214	0,016 714 06	72,3825	0,015 321 22
1,65	51,8364	0,019 534 64	62,7220	0,017 758 77	74,6444	0,016 278 87
1,70	53,4072	0,020 718 64	64,6227	0,018 835 13	76,9064	0,017 265 54
1,75	54,9780	0,021 937 47	66,5234	0,019 943 15	79,1683	0,018 281 22
1,80	56,5488	0,023 191 12	68,4240	0,021 082 83	81,4303	0,019 325 93
1,85	58,1196	0,024 479 59	70,3247	0,022 254 18	83,6922	0,020 399 66
1,90	59,6904	0,025 802 90	72,2254	0,023 457 18	85,9542	0,021 502 42
1,95	61,2612	0,027 161 02	74,1261	0,024 691 84	88,2161	0,022 634 19
2,00	62,8320	0,028 553 93	76,0267	0,025 958 16	90,4781	0,023 794 98
2,05	64,4028	0,029 981 76	77,9274	0,027 256 14	92,7400	0,024 984 80
2,10	65,9736	0,031 444 37	79,8281	0,028 585 79	95,0020	0,026 203 64
2,15	67,5444	0,032 941 80	81,7287	0,029 947 09	97,2639	0,027 451 50
2,20	69,1152	0,034 474 06	83,6294	0,031 340 05	99,5259	0,028 728 38
2,25	70,6860	0,036 041 14	85,5301	0,032 764 67	101,7878	0,030 034 28
2,30	72,2568	0,037 643 05	87,4307	0,034 220 95	104,0498	0,031 369 21
2,35	73,8276	0,039 279 78	89,3314	0,035 708 89	106,3117	0,032 733 15
2,40	75,3984	0,040 951 35	91,2321	0,037 228 50	108,5737	0,034 126 12
2,45	76,9692	0,042 657 73	93,1327	0,038 779 76	110,8356	0,035 548 11
2,50	78,5400	0,044 398 95	95,0334	0,040 362 68	113,0976	0,036 999 12
2,55	80,1108	0,046 174 99	96,9341	0,041 977 26	115,3595	0,038 479 16
2,60	81,6816	0,047 985 85	98,8347	0,043 623 50	117,6215	0,039 988 21
2,65	83,2524	0,049 831 54	100,7355	0,045 301 40	119,8835	0,041 526 29
2,70	84,8232	0,051 712 06	102,6361	0,047 010 97	122,1454	0,043 093 39
2,75	86,3940	0,053 627 40	104,5367	0,048 752 18	124,4074	0,044 689 50
2,80	87,9648	0,055 577 57	106,4374	0,050 525 07	126,6693	0,046 314 65
2,85	89,5356	0,057 562 57	108,3381	0,052 329 61	128,9313	0,047 968 81
2,90	91,1064	0,059 582 39	110,2387	0,054 165 81	131,1932	0,049 652 00
2,95	92,6772	0,061 637 04	112,1394	0,056 033 67	133,4552	0,051 364 20
3,00	94,2480	0,063 726 51	114,0401	0,057 933 19	135,7171	0,053 105 43

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0 25 м. площадь 0,0490875 кв. м.		Діаметръ трубы 0.28 м. площадь 0,06157536 кв. м.		Діаметръ трубы 0,30 м. площадь 0,070686 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,01	0,4909	0,000 003 33	0,6158	0,000 002 98	0,7069	0,000 002 78
0,02	0,9817	0,000 007 78	1,2315	0,000 006 95	1,4137	0,000 006 48
0,03	1,4726	0,000 013 34	1,8473	0,000 011 91	2,1206	0 000 011 12
0,04	1,9635	0,000 020 01	2,4630	0 000 017 87	2,8274	0,000 016 68
0,05	2 4544	0,000 027 80	3,0788	0,000 024 82	3,5343	0,000 023 17
0,06	2,9452	0,000 036 70	3,6945	0,000 032 77	4,2412	0,000 030 58
0,07	3,4361	0,000 046 72	4,3103	0,000 041 71	4,9480	0,000 038 93
0,08	3,9270	0,000 057 84	4,9260	0,000 051 65	5,6549	0,000 048 21
0,09	4,4179	0,000 070 09	5,5418	0,000 062 59	6,3617	0,000 058 41
0,10	4,9087	0,000 083 45	6,1575	0,000 074 51	7,0686	0,000 069 55
0,11	5,3996	0,000 097 93	6,7733	0,000 087 44	7,7755	0,000 081 61
0,12	5,8905	0,000 113 52	7,3890	0,000 101 36	8,4823	0,000 094 60
0,13	6,3814	0,000 130 22	8,0048	0,000 116 27	9,1892	0,000 108 52
0,14	6,8722	0,000 148 04	8,6205	0,000 132 18	9,8960	0,000 123 37
0,15	7,3631	0,000 166 97	9,2363	0,000 149 08	10,6029	0,000 139 14
0,16	7,8540	0,000 187 02	9,8521	0,000 166 98	11,3098	0,000 155 85
0,17	8,3449	0,000 208 18	10,4678	0,000 185 88	12,0166	0 000 173 48
0,18	8,8357	0,000 230 45	11,0836	0,000 205 76	12,7235	0,000 192 05
0,19	9,3266	0,000 253 84	11,6993	0,000 226 64	13,43 3	0,000 211 54
0,20	9,8175	0 000 278 35	12,3151	0 000 248 58	14,1372	0,000 231 96
0,22	10,7992	0,000 330 70	13,5466	0,000 295 27	15,5509	0,000 275 59
0,25	12,2719	0,000 417 58	15,3938	0,000 372 85	17,6715	0,000 347 99
0,28	13,7445	0,000 514 50	17,2411	0,000 459 38	19,7921	0,000 423 75
0,30	14,7262	0,000 584 68	18,4726	0,000 522 04	21,2058	0,000 487 24
0,32	15,7080	0,000 659 32	19,7041	0,000 588 69	22,61 5	0,000 549 44
0,35	17,1806	0,000 779 64	21,5514	0,000 696 11	24,7401	0,000 649 71
0,38	18,6532	0,000 909 99	23,3986	0,000 812 50	26,8607	0,000 758 33
0,40	19,6350	0,001 002 46	24,6301	0,000 895 06	28,2744	0,000 835 39
0,42	20,6167	0,001 099 39	25,8616	0,0 0 981 60	29,6881	0,000 916 16
0,45	22,0894	0,001 253 14	27,7089	0,001 118 88	31,8087	0,001 044 29
0,48	23,5620	0,001 416 93	29 5562	0,001 265 12	33,9293	0,001 180 78
0,50	24,5437	0,001 531 69	30,7877	0,001 367 58	35,3430	0,001 276 41
0,55	26,9981	0,001 838 09	33,8664	0,001 6 1 15	38,8773	0,001 531 74
0,60	29,4525	0,002 172 35	36,9452	0,001 939 60	42,4116	0,001 810 30
0,65	31,9069	0,002 534 48	40,0240	0,002 262 93	45,9459	0,002 112 07
0,70	34,3612	0,002 924 46	43,1027	0,002 611 13	49,4802	0,002 437 06
0,75	36,8156	0,003 342 31	46,1815	0,002 984 21	53,0145	0,002 785 26
0,80	39,2700	0,003 788 02	49,2603	0,003 382 16	56,5488	0,003 156 68
0,85	41,7244	0,004 261 58	52,3391	0,003 804 99	60,0831	0,003 551 32
0,90	44,1787	0,004 763 01	55,4178	0,004 252 69	63,6174	0,003 969 18
0,95	46,6331	0,005 292 30	58,4966	0,004 725 27	67,1517	0,004 410 25

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,25 м. площадь 0,0490875 кв. м.		Діаметръ трубы 0,28 м. площадь 0,06157536 кв. м.		Діаметръ трубы 0,30 м. площадь 0,070686 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
1,00	49,0875	0,005 849 45	61,5754	0,005 222 73	70,6860	0,004 874 54
1,05	51,5418	0,006 434 46	64,6541	0,005 745 05	74,2203	0,005 362 05
1,10	53,9962	0,007 047 33	67,7329	0,006 292 26	77,7546	0,005 872 78
1,15	56,4506	0,007 688 06	70,8117	0,006 864 34	81,2889	0,006 406 72
1,20	58,9050	0,008 356 65	73,8904	0,007 461 30	84,8232	0,006 963 88
1,25	61,3593	0,009 053 10	76,9692	0,008 083 13	88,3575	0,007 544 26
1,30	63,8137	0,009 777 42	80,0480	0,008 729 84	91,8918	0,008 147 85
1,35	66,2681	0,010 529 55	83,1267	0,009 401 43	95,4261	0,008 774 66
1,40	68,7225	0,011 309 62	86,2055	0,010 097 88	98,9604	0,009 424 69
1,45	71,1769	0,012 117 52	89,2843	0,010 819 22	102,4947	0,010 097 94
1,50	73,6312	0,012 953 28	92,3630	0,011 565 43	106,0290	0,010 794 40
1,55	76,0856	0,013 816 90	95,4418	0,012 336 52	109,5633	0,011 514 08
1,60	78,5400	0,014 708 37	98,5206	0,013 132 48	113,0976	0,012 256 98
1,65	80,9944	0,015 627 71	101,5993	0,013 953 32	116,6319	0,013 023 10
1,70	83,4487	0,016 574 91	104,6781	0,014 799 03	120,1662	0,013 812 43
1,75	85,9031	0,017 549 97	107,7569	0,015 669 62	123,7005	0,014 624 98
1,80	88,3575	0,018 552 89	110,8359	0,016 565 09	127,2348	0,015 460 75
1,85	90,8118	0,019 583 67	113,9144	0,017 485 43	130,7691	0,016 319 73
1,90	93,2662	0,020 642 32	116,9932	0,018 430 64	134,3034	0,017 201 93
1,95	95,7206	0,021 728 82	120,0719	0,019 400 73	137,8377	0,018 107 35
2,00	98,1750	0,022 843 18	123,1507	0,020 395 70	141,3720	0,019 035 99
2,05	100,6293	0,023 985 40	126,2295	0,021 415 54	144,9063	0,019 987 84
2,10	103,0837	0,025 155 49	129,3083	0,022 460 26	148,4406	0,020 962 91
2,15	105,5381	0,026 353 44	132,3870	0,023 529 85	151,9749	0,021 961 20
2,20	107,9924	0,027 579 24	135,4658	0,024 624 33	155,5092	0,022 982 71
2,25	110,4468	0,028 832 91	138,5446	0,025 743 67	159,0435	0,024 027 43
2,30	112,9012	0,030 114 44	141,6233	0,026 887 89	162,5778	0,025 095 37
2,35	115,3555	0,031 423 82	144,7021	0,028 056 99	166,1121	0,026 186 52
2,40	117,8099	0,032 761 08	147,7809	0,029 250 96	169,6464	0,027 300 90
2,45	120,2643	0,034 126 18	150,8596	0,030 469 81	173,1807	0,028 438 49
2,50	122,7187	0,035 519 16	153,9384	0,031 713 54	176,7150	0,029 599 30
2,55	125,1731	0,036 939 99	157,0172	0,032 982 14	180,2493	0,030 783 33
2,60	127,6274	0,038 388 68	160,0959	0,034 275 61	183,7836	0,031 990 57
2,65	130,0818	0,039 865 23	163,1747	0,035 593 96	187,3179	0,033 221 03
2,70	132,5362	0,041 369 65	166,2535	0,036 937 19	190,8522	0,034 474 71
2,75	134,9906	0,042 901 92	169,3322	0,038 305 29	194,3865	0,035 751 60
2,80	137,4450	0,044 462 06	172,4110	0,039 698 27	197,9208	0,037 051 72
2,85	139,8993	0,046 050 05	175,4898	0,041 116 12	201,4551	0,038 375 05
2,90	142,3537	0,047 665 91	178,5685	0,042 558 85	204,9894	0,039 721 60
2,95	144,8081	0,049 309 63	181,6473	0,044 026 46	208,5237	0,041 091 36
3,00	147,2625	0,050 981 21	184,7261	0,045 518 94	212,0580	0,042 484 34

Скорость v въ метрахъ въ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,32 м. площадь 0,08042496 кв. м.		Діаметръ трубы 0,35 м. площадь 0,0962115 кв м.		Діаметръ трубы 0,38 м. площадь 0,11341 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,01	0,8042	0,000 002 61	0,9621	0,000 002 38	1,1341	0,000 002 19
0,02	1,6085	0,000 006 08	1,9242	0,000 005 55	2,2682	0,000 005 12
0,03	2.4127	0,000 010 42	2,8863	0,000 009 53	3,4023	0,000 008 77
0,04	3,2170	0,000 015 64	3,8485	0,000 014 29	4,5364	0,000 013 16
0,05	4,0212	0,000 021 72	4,8106	0,000 019 85	5,6705	0,000 018 29
0,06	4,8255	0,000 028 67	5,7727	0,000 026 21	6,8046	0,000 024 14
0,07	5,6297	0,000 036 50	6,7348	0,000 033 37	7,9387	0,000 030 73
0,08	6,4340	0,000 045 19	7,6929	0,000 041 32	9,0728	0,000 038 06
0,09	7,2382	0,000 054 76	8,6590	0,000 050 07	10,2069	0,000 046 11
0,10	8,0425	0,000 065 20	9,6211	0,000 059 61	11,3410	0,000 054 90
0,11	8,8467	0,000 076 51	10,5833	0,000 069 95	12,4751	0,000 064 43
0,12	9,6510	0,000 088 69	11,5454	0,000 081 08	13,6092	0,000 074 68
0,13	10,4552	0,000 101 74	12,5075	0 000 093 01	14,7433	0,000 085 67
0,14	11,2595	0,000 115 66	13,4696	0,000 105 74	15,8774	0,000 097 39
0,15	12,0637	0,000 130 45	14,4317	0,000 119 26	17,0115	0,000 109 85
0,16	12,8680	0,000 146 11	15,3938	0,000 133 58	18,1456	0,000 123 04
0,17	13,6722	0,000 162 64	16,3560	0,000 148 70	19,2797	0,000 136 96
0,18	14,4765	0,000 180 04	17,3181	0,000 164 61	20,4138	0,000 151 61
0,19	15,2807	0,000 198 32	18,2802	0,000 181 31	21,5479	0,000 167 00
0,20	16,0850	0,000 217 46	19,2423	0,000 198 82	22,6820	0,000 183 13
0,22	17,6935	0,000 258 36	21,1665	0,000 236 21	24,9502	0,000 217 57
0,25	20,1062	0,000 326 24	24,0529	0,000 298 27	28,3525	0,000 274 73
0,28	22,5190	0,000 401 96	26,9392	0,000 367 50	31,7548	0,000 338 49
0,30	24,1275	0,000 456 79	28,8634	0,000 417 63	34,0230	0,000 384 66
0,32	25,7360	0,000 515 10	30,7877	0,000 470 95	36,2912	0,000 433 77
0,35	28,1487	0,000 609 10	33,6740	0,000 556 89	39,6935	0,000 512 92
0,38	30,5615	0,000 710 94	36,5604	0,000 649 99	43,0958	0,000 598 68
0,40	32,1700	0,000 783 18	38,4846	0,000 716 05	45,3640	0,000 659 52
0,42	33,7785	0,000 858 90	40,4088	0,000 785 28	47,6322	0,000 723 28
0,45	36,1912	0,000 979 02	43,2952	0,000 895 10	51,0345	0,000 824 44
0,48	38,6040	0,001 106 98	46,1815	0,001 012 09	54,4368	0,000 932 19
0,50	40,2125	0,001 196 64	48,1057	0,001 094 06	56,7050	0,001 007 69
0,55	44,2337	0,001 436 01	52,9163	0,001 312 92	62,3755	0,001 209 27
0,60	48,2550	0,001 697 15	57 7269	0,001 551 63	68,0460	0,001 429 18
0,65	52,2762	0,001 980 06	62,5375	0,001 810 34	73,7165	0,001 667 42
0,70	56,2975	0,002 284 74	67,3480	0,002 088 90	79,3870	0,001 923 99
0,75	60,3187	0,002 611 18	72,1586	0,002 387 36	85,0575	0,002 198 89
0,80	64,3400	0,002 959 39	76,9692	0,002 705 73	90,7280	0,002 492 12
0,85	68,3612	0,003 329 36	81,7798	0,003 043 93	96,3985	0,002 803 67
0,90	72,3825	0,003 721 10	86,5903	0,003 402 15	102,0690	0,003 133 55
0,95	76,4037	0,004 134 61	91,4009	0,003 780 21	107,7395	0,003 481 77

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,32 м. площадь 0,08042496 кв. м.		Діаметръ трубы 0,35 м. площадь 0,0962115 кв. м.		Діаметръ трубы 0,38 м. площадь 0,11341 кв м	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
1,00	80,4250	0,004 569 89	96,2115	0,004 178 18	113,4100	0,003 848 32
1,05	84,4462	0,005 026 92	101,0221	0,004 596 04	119,0805	0,004 233 19
1,10	88,4675	0,005 505 73	105,8326	0,005 033 81	124,7510	0,004 636 40
1,15	92,4887	0,006 006 30	110,6432	0,005 491 47	130,4215	0,005 057 93
1,20	96,5100	0,006 528 64	115,4538	0,005 969 04	136,0920	0,005 497 80
1,25	100,5312	0,007 072 74	120,2644	0,006 466 50	141,7625	0,005 955 99
1,30	104,5524	0,007 638 61	125,0749	0,006 983 87	147,4330	0,006 432 51
1,35	108,5737	0,008 226 25	129,8855	0,007 521 14	153,1035	0,006 927 36
1,40	112,5949	0,008 835 65	134,6961	0,008 078 30	158,7740	0,007 440 54
1,45	116,6162	0,009 466 82	139,5067	0,008 655 37	164,4445	0,007 972 05
1,50	120,6374	0,010 119 75	144,3172	0,009 252 34	170,1150	0,008 521 89
1,55	124,6587	0,010 794 45	149,1278	0,009 869 21	175,7855	0,009 090 06
1,60	128,6799	0,011 490 92	153,9384	0,010 505 98	181,4560	0,009 676 56
1,65	132,7012	0,012 209 15	158,7490	0,011 162 65	187,1265	0,010 281 39
1,70	136,7224	0,012 949 15	163,5595	0,011 839 22	192,7970	0,010 904 55
1,75	140,7437	0,013 710 92	168,3701	0,012 535 69	198,4675	0,011 546 03
1,80	144,7649	0,014 494 45	173,1807	0,013 252 07	204,1380	0,012 205 85
1,85	148,7862	0,015 299 75	177,9913	0,013 988 34	209,8085	0,012 884 00
1,90	152,8074	0,016 126 81	182,8018	0,014 744 51	215,4790	0,013 580 47
1,95	156,8287	0,016 975 64	187,6124	0,015 520 58	221,1495	0,014 295 27
2,00	160,8499	0,017 846 24	192,4230	0,016 316 56	226,8200	0,015 028 41
2,05	164,8712	0,018 738 70	197,2336	0,017 132 43	232,4905	0,015 779 87
2,10	168,8924	0,019 652 73	202,0441	0,017 968 21	238,1610	0,016 549 67
2,15	172,9137	0,020 588 63	206,8547	0,018 823 88	243,8315	0,017 337 79
2,20	176,9349	0,021 546 29	211,6653	0,019 699 46	249,5020	0,018 144 24
2,25	180,9562	0,022 525 71	216,4759	0,020 594 93	255,1725	0,018 969 02
2,30	184,9774	0,023 526 90	221,2864	0,021 510 31	260,8430	0,019 812 13
2,35	188,9987	0,024 549 87	226,0970	0,022 445 59	266,5135	0,020 673 57
2,40	193,0199	0,025 594 59	230,9076	0,023 400 77	272,1840	0,021 553 34
2,45	197,0412	0,026 661 09	235,7182	0,024 375 85	277,8545	0,022 451 44
2,50	201,0624	0,027 749 34	240,5287	0,025 370 83	283,5250	0,023 367 86
2,55	205,0836	0,028 859 37	245,3393	0,026 385 71	289,1955	0,024 302 62
2,60	209,1048	0,029 991 16	250,1499	0,027 420 49	294,8660	0,025 255 71
2,65	213,1261	0,031 144 72	254,9604	0,028 475 17	300,5365	0,026 227 13
2,70	217,1474	0,032 320 04	259,7710	0,029 549 75	306,2070	0,027 216 87
2,75	221,1686	0,033 517 13	264,5816	0,030 644 23	311,8775	0,028 224 95
2,80	225,1899	0,034 735 99	269,3922	0,031 758 61	317,5480	0,029 251 35
2,85	229,2111	0,035 976 61	274,2027	0,032 892 89	323,2185	0,030 296 09
2,90	233,2324	0,037 239 00	279,0133	0,034 047 08	328,8890	0,031 359 15
2,95	237,2536	0,038 523 15	283,8239	0,035 221 16	334,5595	0,032 440 54
3,00	241,2749	0,039 829 07	288,6345	0,036 415 15	340,2300	0,033 540 27

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,40 м. площадь 0,125664 кв. м.		Діаметръ трубы 0,42 м. площадь 0,13854456 кв. м.		Діаметръ трубы 0,45 м. площадь 0,1590435 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,01	1,2566	0 000 002 09	1,3854	0,000 001 98	1,5904	0,000 001 85
0,02	2,5133	0,000 004 86	2,7709	0,000 004 63	3,1809	0,000 004 32
0,03	3,7699	0,000 008 34	4,1563	0,000 007 94	4,7713	0,000 007 41
0,04	5,0266	0,000 012 51	5,5418	0,000 011 91	6,3617	0,000 011 12
0,05	6,2832	0,000 017 38	6,9272	0,000 016 55	7,9522	0,000 015 44
0,06	7,5398	0,000 022 94	8,3127	0,000 021 84	9,5426	0,000 020 39
0,07	8,7965	0,000 029 20	9,6981	0,000 027 81	11,1330	0,000 025 95
0,08	10,0531	0,000 036 16	11,0836	0,000 034 43	12,7235	0,000 032 14
0,09	11,3098	0,000 043 81	12,4690	0,000 041 72	14,3139	0,000 038 94
0,10	12,5664	0,000 052 16	13,8545	0,000 049 67	15,9043	0,000 046 36
0,11	13,8230	0,000 061 21	15,2399	0,000 058 29	17,4948	0,000 054 40
0,12	15,0797	0,000 070 95	16,6253	0,000 067 57	19,0852	0,000 063 06
0,13	16,3363	0,000 081 39	18,0108	0,000 077 51	20,6757	0,000 072 34
0,14	17,5930	0,000 092 53	19,3962	0,000 088 12	22,2661	0,000 082 24
0,15	18,8496	0,000 104 36	20,7817	0,000 099 39	23,8565	0,000 092 76
0,16	20,1062	0,000 116 89	22,1671	0,000 111 32	25,4470	0,000 103 90
0,17	21,3629	0,000 130 11	23,5526	0,000 123 92	27,0374	0,000 115 65
0,18	22,6195	0,000 144 04	24,9380	0,000 137 17	28,6278	0,000 128 03
0,19	23,8762	0,0 0 158 65	26,3235	0,000 151 09	30,2183	0,000 141 02
0,20	25,1328	0,0 0 173 97	27,7089	0,000 165 72	31,8087	0,000 154 64
0,22	27,6461	0,000 206 69	30,4798	0,000 196 85	34,9896	0,000 183 72
0,25	31,4160	0,000 260 99	34,6361	0,000 248 56	39,7609	0,000 231 99
0,28	35,1859	0,000 321 57	38,7925	0,000 306 25	44,5322	0,000 285 83
0,30	37,6992	0,000 365 43	41,5634	0,000 348 03	47,7130	0,000 324 82
0,32	40,2125	0,000 412 08	44,3343	0,000 392 46	50,8939	0,000 366 29
0,35	43,9824	0,000 487 28	48,4906	0,000 464 07	55,6652	0,000 433 14
0,38	47,7523	0,000 568 75	52,6469	0,000 541 66	60,4365	0,000 505 55
0,40	50,2656	0,000 626 54	55,4178	0,000 596 71	63,6174	0,000 556 92
0,42	52,7789	0,000 687 12	58,1887	0,000 654 40	66,7983	0,000 610 77
0,45	56,5488	0,000 783 22	62,3451	0,000 745 92	71,5696	0,000 696 19
0,48	60,3187	0,000 885 58	66,5014	0,000 843 41	76,3409	0,000 787 18
0,50	62,8320	0,000 957 31	69,2723	0,000 911 72	79,5217	0,000 850 94
0,55	69,1152	0,001 148 81	76,1995	0,001 094 10	87,4739	0,001 021 16
0,60	75,3984	0,001 357 72	83,1267	0,001 293 07	95,4261	0,001 206 86
0,65	81,6816	0,001 584 05	90,0540	0,001 508 62	103,3783	0,001 408 04
0,70	87,9648	0,001 827 79	96,9812	0,001 740 75	111,3304	0,001 624 70
0,75	94,2480	0,002 088 95	103,9084	0,001 989 47	119,2826	0,001 856 84
0,80	100,5312	0,002 367 51	110,8356	0,002 254 77	127,2348	0,002 104 45
0,85	106,8144	0,002 663 49	117,7629	0,002 536 66	135,1870	0,002 367 54
0,90	113,0976	0,002 976 88	124,6901	0,002 835 12	143 1391	0,002 646 12
0,95	110,3808	0,003 307 69	131,6173	0,003 150 18	151,0913	0,002 940 16

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,40 м. площадь 0,125664 кв. м.		Діаметръ трубы 0,42 м. площадь 0,13854456 кв. м.		Діаметръ трубы 0,45 м. площадь 0,1590435 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
1,00	125,6640	0,003 635 91	138,5446	0,003 481 82	159,0 35	0,003 249 69
1,05	131,9472	0,004 021 54	145,4718	0,003 830 03	166,99[illegible]	0,003 574 70
1,10	138,2304	0,004 404 58	152,3990	0,004 191 84	174,9478	0,003 915 18
1,15	144,5136	0,004 805 04	159,3262	0,004 576 23	182,9000	0,004 271 14
1,20	150,7968	0,005 222 91	166,2535	0,004 974 20	190,8522	0,004 642 58
1,25	157,0800	0,005 658 19	173,1807	0,005 388 75	198,8044	0,005 029 50
1,30	163,3632	0,006 110 88	180,1079	0,005 819 89	206,7565	0,005 431 90
1,35	169,6464	0,006 581 00	187,0352	0,006 267 62	214,7087	0,005 849 77
1,40	175,9296	0,007 068 52	193,9624	0,006 731 92	222,6609	0,006 283 12
1,45	182,2128	0,007 573 45	200,8896	0,007 212 81	230,6131	0,006 731 96
1,50	188,4960	0,008 095 80	207,8168	0,007 710 28	238,5652	0,007 196 26
1,55	194,7792	0,008 635 56	214,7441	0,008 224 34	246,5174	0,007 676 05
1,60	201,0624	0,009 192 74	221,6713	0,008 754 98	254,4696	0,008 171 32
1,65	207,3456	0,009 767 32	228,5985	0,009 302 21	262,4218	0,008 682 06
1,70	213,6288	0,010 359 32	235,5258	0,009 866 02	270,3739	0,009 208 28
1,75	219,9120	0,010 968 74	242,4530	0,010 446 41	278,3261	0,009 749 98
1,80	226,1952	0,011 595 56	249,3802	0,011 043 39	286,2783	0,010 307 16
1,85	232,4784	0,012 239 80	256,3074	0,011 656 95	294,2305	0 010 879 82
1,90	238,7616	0,012 901 45	263,2347	0,012 287 09	302,1826	0,011 467 95
1,95	245,0448	0,013 580 51	270,1619	0,012 933 82	310,1348	0,012 071 56
2,00	251,3280	0,014 276 99	277,8091	0,013 597 13	318,0870	0,012 690 66
2,05	257,6112	0,014 990 88	284,0164	0,014 277 03	326,0392	0,013 325 22
2,10	263,8944	0,015 722 19	290,9436	0,014 973 51	333,9913	0,013 975 27
2,15	269,1776	0,016 470 90	297,8708	0,015 686 57	341,9435	0,014 640 80
2,20	276,4608	0,017 237 03	304,7980	0,016 416 22	349,8957	0,015 321 80
2,25	282,7440	0,018 020 57	311,7253	0,017 162 45	357,8479	0,016 0'8 28
2,30	289,0272	0,018 821 53	318,6525	0,017 925 26	365,8000	0,016 730 24
2,35	295,3104	0,019 639 89	325,5797	0,018 704 66	373,7522	0,017 457 68
2,40	301,5936	0,020 475 68	332,5069	0,019 500 64	381,5044	0,018 200 60
2,45	307,8768	0,021 328 87	339,4342	0,020 313 21	389,6566	0,018 958 99
2,50	314,1600	0,022 199 48	346,3614	0,021 142 36	397,6087	0,019 732 86
2,55	320,4432	0,023 087 50	353,2886	0,021 988 09	405,5609	0,020 522 22
2,60	326,7264	0,023 992 93	360,2159	0,022 850 41	413,5131	0,021 327 04
2,65	333,0096	0,024 915 77	367,1431	0,023 729 31	421,4652	0,022 147 35
2,70	339,2928	0,025 856 03	374,0703	0,024 624 79	429,4174	0,022 983 14
2,75	345,5760	0,026 813 70	380,9975	0,025 536 86	437,3696	0,023 834 40
2,80	351,8592	0,027 788 79	387,9248	0,026 465 51	445,3218	0,024 701 14
2,85	358,1424	0,028 781 29	394,8520	0,027 410 75	453,2739	0,025 583 36
2,90	364,4256	0,029 791 20	401,7792	0,028 372 57	461,2261	0,026 481 06
2,95	370,7088	0,030 818 52	408,7064	0,029 350 97	469,1783	0,027 394 24
3,00	376,9920	0,031 863 26	415,6337	0,030 345 96	477,1305	0,028 322 39

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,48 м. площадь 0,18095616 кв. м.		Діаметръ трубы 0,50 м. площадь 0,19635 кв. м.		Діаметръ трубы 0,55 м. площадь 0,2375835 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,01	1,8096	0,000 00174	1,9635	0,000 00167	2,3758	0,000 00151
0,02	3,6191	0,000 00405	3,9270	0,000 00389	4,7517	0,000 00354
0,03	5,4287	0,000 00695	5,8905	0,000 00667	7,1275	0,000 00606
0,04	7,2382	0,000 01043	7,8540	0,000 01001	9,5033	0,000 00909
0,05	9,0478	0,000 01448	9,8175	0,000 01390	11,8792	0,000 01263
0,06	10,8574	0,000 01912	11,7810	0,000 01835	14,2550	0,000 01668
0,07	12,6669	0,000 02434	13,7445	0,000 02336	16,6308	0,000 02123
0,08	14,4765	0,000 03013	15,7080	0,000 02892	19,0067	0,000 02629
0,09	16,2861	0,000 03651	17,6715	0,000 03505	21,3825	0,000 03186
0,10	18,0956	0,000 04347	19,6350	0,000 04173	23,7583	0,000 03793
0,11	19,9052	0,000 05101	21,5985	0,000 04897	26,1342	0,000 04451
0,12	21,7147	0,000 05913	23,5620	0,000 05676	28,5100	0,000 05160
0,13	23,5243	0,000 06783	25,5255	0,000 06511	30,8859	0,000 05919
0,14	25,3339	0,000 07711	27,4890	0,000 07402	33,2617	0,000 06729
0,15	27,1434	0,000 08697	29,4525	0,000 08349	35,6375	0,000 07589
0,16	28,9530	0,000 09741	31,4160	0,000 09351	38,0134	0,000 08501
0,17	30,7625	0,000 10843	33,3795	0,000 10409	40,3892	0,000 09463
0,18	32,5721	0,000 12003	35,3430	0,000 11523	42,7650	0,000 10475
0,19	34,3817	0,000 13221	37,3065	0,000 12692	45,1409	0,000 11538
0,20	36,1912	0,000 14498	39,2700	0,000 13917	47,5167	0,000 12652
0,22	39,8104	0,000 17224	43,1970	0,000 16535	52,2684	0,000 15032
0,25	45,2390	0,000 21750	49,0875	0,000 20879	59,3959	0,000 18981
0,28	50,6677	0,000 26797	54,9780	0,000 25725	66,5234	0,000 23386
0,30	54,2868	0,000 30453	58,9050	0,000 29234	71,2750	0,000 26577
0,32	57,9060	0,000 34340	62,8320	0,000 32966	76,0267	0,000 29969
0,35	63,3347	0,000 40607	68,7225	0,000 38982	83,1544	0,000 35438
0,38	68,7633	0,000 47396	74,6130	0,000 45500	90,2817	0,000 41363
0,40	72,3825	0,000 52212	78,5400	0,000 50123	95,0334	0,000 45567
0,42	76,0016	0,000 57260	82,4670	0,000 54970	99,7851	0,000 49972
0,45	81,4303	0,000 65268	88,3575	0,000 62657	106,9126	0,000 56961
0,48	86,8590	0,000 73799	94,2480	0,000 70847	114,0401	0,000 64406
0,50	90,4781	0,000 79776	98,4700	0,000 76584	118,7917	0,000 69622
0,55	99,5259	0,000 95734	107,9825	0,000 91904	130,6709	0,000 83549
0,60	108,5737	0,001 13144	117,8100	0,001 08618	142,5501	0,000 98743
0,65	117,6215	0,001 32004	127,6275	0,001 26724	154,4293	0,001 15203
0,70	126,6693	0,001 52316	137,4450	0,001 46223	166,3084	0,001 32930
0,75	135,7171	0,001 74079	147,2625	0,001 67115	178,1876	0,001 51923
0,80	144,7649	0,001 97293	157,0800	0,001 89401	190,0668	0,001 72183
0,85	153,8127	0,002 21958	166,8975	0,002 13079	201,9460	0,001 93708
0,90	162,8605	0,002 48074	176,7150	0,002 38150	213,8251	0,002 16500
0,95	171,9084	0,002 75641	186,8325	0,002 64615	225,7043	0,002 40559

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,48 м. площадь 0,18095616 кв. м.		Діаметръ трубы 0,50 м. площадь 0,19635 кв. м.		Діаметръ трубы 0,55 м. площадь 0,2375835 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
1,00	180,9562	0,003 046 59	196,3500	0,002 924 72	237,5835	0,002 658 84
1,05	190,0040	0,003 351 28	206,1675	0,003 217 23	249,4627	0,002 924 75
1,10	199,0518	0,003 670 49	215,9850	0,003 523 66	261,3418	0,003 203 33
1,15	208,0996	0,004 004 20	225,8025	0,003 844 03	273,2210	0,003 494 57
1,20	217,1474	0,004 352 43	235,6200	0,004 178 33	285,1002	0,003 798 48
1,25	226,1952	0,004 715 16	245,4375	0,004 526 55	296,9794	0,004 115 05
1,30	235,2430	0,005 092 41	255,2550	0,004 888 71	308,8585	0,004 444 28
1,35	244,2908	0,005 484 17	265,0725	0,005 264 80	320,7377	0,004 786 18
1,40	253,3386	0,005 890 43	274,8900	0,005 654 81	332,6169	0,005 140 74
1,45	262,3864	0,006 311 21	284,7075	0,006 058 76	344,4961	0,005 507 96
1,50	271,4342	0,006 746 50	294,5250	0,006 476 64	356,3752	0,005 887 85
1,55	280,4820	0,007 196 30	304,3425	0,006 908 45	368,2544	0,006 280 41
1,60	289,5299	0,007 660 61	314,1600	0,007 354 19	380,1336	0,006 685 62
1,65	298,5777	0,008 139 44	323,9775	0,007 813 86	392,0128	0,007 103 51
1,70	307,6255	0,008 632 77	333,7950	0,008 287 46	403,8919	0,007 534 05
1,75	316,6733	0,009 140 61	343,6125	0,008 774 99	415,7711	0,007 977 26
1,80	325,7211	0,009 662 97	353,4300	0,009 276 45	427,6503	0,008 433 13
1,85	334,7689	0,010 199 83	363,2475	0,009 791 84	439,5295	0,008 901 67
1,90	343,8167	0,010 751 21	373,0650	0,010 321 16	451,4085	0,009 382 87
1,95	352,8645	0,011 317 10	382,8825	0,010 864 41	463,2878	0,009 876 73
2,00	361,9123	0,011 897 49	392,7000	0,011 421 59	475,1670	0,010 383 26
2,05	370,9601	0,012 492 40	402,5175	0,011 992 70	487,0462	0,010 902 46
2,10	380,0079	0,013 101 82	412,3350	0,012 577 75	498,9253	0,011 434 31
2,15	389,0557	0,013 725 75	422,1525	0,013 176 72	510,8045	0,011 978 83
2,20	398,1036	0,014 364 19	431,9700	0,013 789 62	522,6837	0,012 536 02
2,25	407,1514	0,015 017 14	441,7875	0,014 416 45	534,5629	0,013 105 87
2,30	416,1992	0,015 684 61	451,6050	0,015 057 22	546,4420	0,013 688 38
2,35	425,2470	0,016 366 58	461,4225	0,015 711 91	558,3212	0,014 283 56
2,40	434,2948	0,017 063 06	471,2400	0,016 380 54	570,2004	0,014 891 40
2,45	443,3426	0,017 774 06	481,0575	0,017 063 09	582,0796	0,015 511 90
2,50	452,3904	0,018 499 56	490,8750	0,017 759 58	593,9587	0,016 145 07
2,55	461,4382	0,019 239 58	500,6925	0,018 469 99	605,8379	0,016 790 90
2,60	470,4860	0,019 994 11	510,5100	0,019 194 34	617,7171	0,017 449 40
2,65	479,5338	0,020 763 15	520,3275	0,019 932 62	629,5962	0,018 120 56
2,70	488,5816	0,021 546 70	530,1450	0,020 684 82	641,4754	0,018 804 39
2,75	497,6294	0,022 344 75	539,9625	0,021 450 96	653,3546	0,019 500 87
2,80	506,6772	0,023 157 33	549,7800	0,022 231 03	665,2337	0,020 210 03
2,85	515,7251	0,023 984 41	559,5975	0,023 025 08	677,1129	0,020 931 84
2,90	524,7729	0,024 826 00	569,4150	0,023 832 96	688,9921	0,021 666 32
2,95	533,8207	0,025 682 10	579,2325	0,024 654 81	700,8713	0,022 413 47
3,00	542,8685	0,026 552 72	589,0500	0,025 490 60	712,7505	0,023 173 28

Скорость v въ метрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,60 м. площадь 0,282744 кв. м.		Расходъ воды въ литрахъ въ секунду.	Діаметръ трубы 0,60 м. площадь 0,282744 кв. м.	
	Расходъ воды въ литрахъ въ секунду.	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.		Расходъ воды въ литрахъ въ секунду.	Потеря напора въ метрахъ на 1 погонный метръ.
0,01	2,8274	0,000 001 39	1,00	282,7440	0,002 437 27
0,02	5,6549	0,000 003 24	1,05	296,8812	0,002 681 02
0,03	8,4823	0,000 005 56	1,10	311,0184	0,002 936 39
0,04	11,3098	0,000 008 34	1,15	325,1556	0,003 203 36
0,05	14,1372	0,000 011 58	1,20	339,3928	0,003 481 94
0,06	16,9646	0,000 015 29	1,25	353,4300	0,003 772 13
0,07	19,7921	0,000 019 47	1,30	367,5672	0,004 073 92
0,08	22,6195	0,000 024 10	1,35	381,7044	0,004 387 33
0,09	25,4470	0,000 029 21	1,40	395,8416	0,004 717 34
0,10	28,2744	0,000 034 77	1,45	409,9788	0,005 048 97
0,11	31,1018	0,000 040 80	1,50	424,1160	0,005 397 20
0,12	33,9293	0,000 047 30	1,55	538,2532	0,005 794 04
0,13	36,7567	0,000 054 26	1,60	452,3904	0,006 128 49
0,14	39,5842	0,000 061 68	1,65	466,5276	0,006 511 55
0,15	42,4116	0,000 069 57	1,70	480,6648	0,006 906 21
0,16	45,2390	0,000 077 92	1,75	494,8020	0,007 312 49
0,17	48,0665	0,000 086 74	1,80	508,9392	0,007 730 37
0,18	50,8939	0,000 096 02	1,85	523,0764	0,008 159 86
0,19	53,7214	0,000 105 77	1,90	537,2136	0,008 600 97
0,20	56,5488	0,000 115 98	1,95	551,3508	0,009 053 67
0,22	62,2037	0,000 137 79	2,00	565,4880	0,009 517 99
0,25	70,6860	0,000 173 99	2,05	579,6252	0,009 993 92
0,28	79,1683	0,000 214 38	2,10	593,7624	0,010 481 46
0,30	84,8232	0,000 243 62	2,15	607,8996	0,010 980 60
0,32	90,4781	0,000 274 72	2,20	622,0368	0,011 491 35
0,35	98,9604	0,000 324 85	2,25	636,1740	0,012 013 71
0,38	107,4427	0,000 379 16	2,30	650,3112	0,012 547 68
0,40	113,0976	0,000 417 69	2,35	664,4484	0,013 093 26
0,42	118,7525	0,000 458 08	2,40	678,5856	0,013 650 45
0,45	127,2348	0,000 522 14	2,45	692,7228	0,014 219 24
0,48	135,7171	0,000 590 39	2,50	706,8600	0,014 799 65
0,50	141,3720	0,000 638 20	2,55	720,9972	0,015 391 66
0,55	155,5092	0,000 765 87	2,60	735,1344	0,016 995 28
0,60	169,6464	0,000 905 15	2,65	749,2716	0,016 610 51
0,65	183,7836	0,000 056 03	2,70	763,4088	0,017 237 35
0,70	197,9208	0,000 218 53	2,75	777,5460	0,017 875 80
0,75	212,0580	0,000 392 63	2,80	791,6832	0,018 525 86
0,80	226,1952	0,000 578 34	2,85	805,8204	0,019 187 52
0,85	240,3324	0,000 775 66	2,90	819,9576	0,019 860 80
0,90	254,4696	0,000 984 59	2,95	834,0948	0,020 545 68
0,95	268,6068	0,000 205 12	3,00	848,2320	0,021 242 17

Примѣненіе предъидущей таблицы Прони необыкновенно просто.

Примѣръ 1. Трубопроводъ въ 32 сантиметра внутренняго діаметра долженъ доставлять 160 литровъ воды. По страницѣ 320 скорость воды въ секунду будетъ 2 метра и потеря напора на погонный метръ длины трубы составляетъ, 0,01784 метра или почти 18 мм., такъ что 1000 на м. длины водопровода приходится потеря напора 17,84 м.

При скорости въ 3 м. въ секунду соотвѣтствующее количество воды будетъ 241 литръ, а потеря напора, ему соотвѣтствующая, получится уже 39,83 м. на 1000 м. длины водопровода; при скорости 1 м. или при доставленіи 80 литровъ воды въ секунду потеря напора была бы только 4,56 м. Слѣдовательно потеря напора увеличивается почти пропорціонально квадрату скорости.

Примѣръ 2. Трубопроводъ имѣетъ ширину 10 сантиметровъ и паденіе 0,03 сантиметра или 0,0003 м. на 1 м. длины. Много ли воды онъ доставляетъ въ секунду по таблицѣ?

Количество воды при	0,000283 м.	паденія.	=0,9425	литра
„ „ „	0,000325 м.	„	1,0210	„
Поэтому при	0,000300 м.	„ приблизительно	0,9817	„

c) Формула Дарси. Результаты очень обширныхъ опытовъ Дарси слѣдующіе: 1) свойство матеріала трубъ имѣетъ существенное вліяніе на сопротивленіе тренія; 2) трубы, окрашенныя дегтемъ, даютъ расходъ воды въ пропорціи 4 : 3 большій, чѣмъ вычисленный по формулѣ Прони; 3) потеря отъ тренія въ чугунныхъ трубахъ, бывшихъ долгое время въ употребленіи, гораздо больше, чѣмъ по формулѣ Прони; въ тщательно вычищенныхъ трубахъ результатъ согласуется съ результатомъ по Прони; 4) вообще формула Прони при трубахъ малаго діаметра даетъ слишкомъ малую, а для трубъ большаго діаметра слишкомъ большую потерю отъ тренія; 5) треніе воды въ трубахъ не зависитъ отъ давленія ея на стѣнки водопровода. Для тѣхъ случаевъ практики, когда скорость v имѣетъ величину нѣсколькихъ дециметровъ, Дарси предложилъ примѣнять формулу : $ri = b_2 v^2$, гдѣ r внутренній радіусъ трубы и коэффиціентъ b_2 для желѣзныхъ и чугунныхъ новыхъ неокрашенныхъ трубъ

$$b_2 = 0{,}000507 + \frac{0{,}00000647}{r} \quad \text{и}$$

$$h_1 = \left(0{,}001014 + \frac{0{,}00002588}{d}\right)\frac{l}{d}\, v^2 \ . \ . \ (5).$$

По этому выраженію Дарси вычислилъ нижеслѣдующую таблицу, которая даетъ величины b_2, далѣе величины $\frac{b_2}{r}$ и $\sqrt{\frac{r}{b_2}}$ для различныхъ діаметровъ трубъ.

Здѣсь нужно обратить вниманіе на то, что эти величины вѣрны для новыхъ водопроводовъ, стѣнки которыхъ еще не покрылись осадками; сопротивленіе въ старыхъ трубахъ оказывается вдвое больше. Но такъ какъ въ практикѣ всякій водопроводъ назначается для продолжительнаго употребленія, то при расчетахъ слѣдуетъ эти числа таблицы брать въ 2 раза больше.

Таб. велич. b_2; $\frac{b_2}{r}$ и $\sqrt{\frac{r}{b_2}}$ для нов. и велич. $\frac{i}{Q^2}$ для стар. чугун. трубъ.

Діаметръ d въ метр.	Радіусъ r въ метр.	Число b_2.	Отношеніе $\frac{b_2}{r}$.	Величина $\sqrt{\frac{r}{b_2}}$.	Величина $\frac{i}{Q^2}$.
0,040	0,0200	0,000830	0,041525	4,9070	52592
0,050	0,0250	0,000765	0,030632	5,7130	15891
0,054	0,0270	0,000746	0,027653	6,0130	10544
0,060	0,0300	0,000722	0,024089	6,4430	6024
0,070	0,0350	0,000691	0,019767	7,1020	2669
0,080	0,0400	0,000668	0,016718	7,7330	1323
0,090	0,0450	0,000650	0,014461	8,3150	714,7
0,100	0,0500	0,000636	0,012728	8,8630	412,7
0,110	0,0550	0,000624	0,011357	9,3830	251,5
0,120	0,0600	0,000614	0,010247	9,8780	160,2
0,130	0,0650	0,000606	0,009331	10,3520	105,9
0,135	0,0675	0,000602	0,008931	10 5810	87,18
0,140	0,0700	0,000599	0,008563	10,8060	72,27
0,150	0,0750	0,000593	0,007910	11,2430	50,66
0,160	0,0800	0,000587	0,007348	11,6650	36,36
0,170	0,0850	0,000583	0,006860	12,0730	26,63
0,180	0,0900	0,000578	0,006432	12,4680	19,87
0,190	0,0950	0,000575	0,006053	12,7050	16,06
0,200	0,1000	0,000571	0,005717	13,2250	11,59
0,210	0,1050	0,000568	0,005415	13,8020	9,028
0,220	0,1100	0,000565	0,005143	13,9430	7,110
0,230	0,1150	0,000563	0,004897	14,2880	5,675
0,240	0,1200	0,000560	0,004674	14,6260	4,568
0,250	0,1250	0,000558	0,004470	14,9560	3,710
0,260	0,1300	0,000556	0,004282	15,2800	3,039
0,270	0,1350	0,000554	0,004110	15,5970	2,508
0,280	0,140	0,000553	0,003951	15,908	2,084
0,290	0,145	0,000551	0,003804	16,213	1,744
0,300	0,150	0,000550	0,003667	16,512	1,468
0,310	0,155	0,000548	0,003540	16,806	1,243
0,320	0,160	0,000547	0,003424	17,095	1,058
0,330	0,1650	0,000546	0,003310	17,380	0,9050
0,340	0,1700	0,000545	0,003320	17,660	0,7779
0,350	0,1750	0,000543	0,003108	17,936	0,6716
0,360	0,1800	0,000542	0,003016	18,207	0,5823
0,370	0,1850	0,000541	0,002929	18,475	0,5068
0,380	0,1900	0,000541	0,002847	18,739	0,4428
0,390	0,1950	0 000540	0,002770	18,999	0,3882
0,400	0,200	0,000539	0,002696	19,256	0,3415
0,410	0,205	0,000538	0,002627	19,510	0,3014
0,420	0,210	0,000537	0,002561	19,760	0,2668
0,430	0,215	0,000537	0,002498	20,007	0,2369
0,440	0,220	0,000536	0,002438	20,251	0,2109
0,450	0,225	0,000535	0,002381	20,493	0,1883
0,460	0,230	0,000535	0,002326	20,731	0,1685
0,470	0,235	0,000534	0,002274	20,967	0,1511
0,480	0,240	0,000533	0,002224	21,200	0,1359
0,490	0,245	0,000533	0,002177	21,431	0,1225
0,500	0,250	0,000532	0,002131	21,659	0,1106
0,550	0,275	0 000530	0,001929	22,767	0,03833
0,600	0,300	0,000528	0,001761	23,823	0,04408
0,650	0,325	0,000526	0,001621	24,835	0,02945
0,700	0,350	0 000525	0,001501	25,807	0,02027
0,750	0,375	0,000525	0,001398	26,745	0,01433
0,800	0,400	0,000523	0,001307	27,650	0,01035
0,900	0,450	0,000521	0,001158	29,378	0,005726
1,000	0,500	0,000519	0,001039	31,010	0,003372

Употребленіе таблицы. Изъ выраженія $ri = b_2 v^2$ получимъ

$$i = \frac{b_2 v^2}{r}; \quad v = \sqrt{i \frac{r}{b_2}}; \quad d = \sqrt[5]{\frac{3{,}241\, b_2 Q^2}{i}}; \quad i = \frac{3{,}241 b_2}{d^5} Q^2.$$

Для водопроводовъ въ обыкновенномъ состояніи таблица еще даетъ по Брессу величины $i : Q^2$ (i въ метрахъ, Q въ куб. метр. въ секунду) и позволяетъ быстро вычислить одно изъ 3 количествъ d, i и Q, когда даны два другія. Для новыхъ водопроводовъ можно допускать, что $i : Q^2$ на половину меньше. Домовые водопроводы съ развѣтвленіями и пр., діаметромъ отъ 0,014 до 0,041 м. гораздо лучше разсчитывать по коэффиціентамъ Прони. *)

Примѣръ. Много ли воды дастъ въ секунду труба 0,50 въ діаметрѣ, имѣющая длину 580 м. при напорѣ 1,3 м.? Напоръ на погон. метръ будетъ 1,3 : 580 = 0,0023 м. Въ таблицѣ противъ діаметра 0,50 въ 6-мъ столбцѣ находимъ число 0,002131. Раздѣли на это число относительный напоръ; корень квадратный изъ частнаго будетъ количество воды, какое даетъ труба въ секунду,

$$\frac{0{,}0023}{0{,}1106} = 0{,}0207; \quad \sqrt{0{,}0207} = \frac{\sqrt{207}}{\sqrt{1{,}0000}} = \frac{14{,}38}{100} = 0{,}1438, \text{ куб. м.}$$

Въ 1 куб. м. считается 81,31 ведеръ воды. Поэтому $Q = 11{,}7$ ведеръ.

Примѣръ 2. Какой долженъ быть діаметръ трубы, которая могла бы доставить въ секунду 0,80 куб. м. воды при напорѣ 0,004 м. на погонный метръ?

Раздѣли напоръ на погонный метръ на квадратъ количества воды; $\frac{0{,}004}{9{,}82} = \frac{0{,}004}{0{,}64} = 0{,}00625$. Такого числа въ 6-мъ столбцѣ таблицы нѣтъ; хотя очевидно, что ему будетъ соотвѣтствовать діаметръ между 0,80 и 0,90 м. Возьмемъ

$\frac{i}{Q^2} = 0{,}01035$ при діаметрѣ 0,80 м.	0,00623 при діаметрѣ x.	462 : 52 = 0,10 : x
$\frac{i}{Q^2} = 0{,}00573$ „ „ 0,90 „	0,00573 „ „ 0,90	$x = \frac{52.0{,}10}{462} = 0{,}011$
462 0,10	52 x	

Слѣдовательно для $\frac{i}{Q^2} = 0{,}00625$ соотвѣтствующій діаметръ будетъ $d = 0{,}90 - 0{,}011 = 0{,}89$ м.

Эту задачу можно рѣшить еще такъ: Предположимъ, что скорость воды при данномъ напорѣ будетъ 1 м. въ секунду и что поэтому діаметръ былъ бы почти 1,1 м.; этому предположенію соотвѣтствуетъ по таблицѣ коэффиціентъ $b_2 = 0{,}001038$. Квадратъ количества воды умножь на удвоенное число изъ таблицы и еще на 3,241, произведеніе раздѣли на напоръ на погонный метръ. Корень пятой степени изъ частнаго будетъ искомый діаметръ

$$d = \sqrt[5]{\frac{3{,}241 . 0{,}001038 . 0{,}80 . 0{,}80}{0{,}004}} = \sqrt[5]{0{,}54} = 0{,}89 \text{ м.}$$

По таблицѣ этому діаметру соотвѣтствуетъ коэффиціентъ $b_2 = 0{,}000521$; такъ какъ разница между нимъ и прежнимъ не велика, то произведенное вычисленія надо признать вѣрнымъ.—Въ противномъ случаѣ вычисленіе надобно повторить.

Примѣръ 3. Найти скорость воды въ трубѣ діаметромъ 0,80 м. при напорѣ 0,005 м. на погонный метръ. Въ таблицѣ противъ $d = 0{,}80$ находимъ въ 3-мъ столбцѣ число $b_2 = 0{,}000523$. Умножь Q^2 радіусъ трубы на напоръ на пог. м. и раздѣли на двойное число изъ таблицы; корень квадратный изъ частнаго будетъ скорость.

---

*) Подробная таблица Бресса находится въ лекціяхъ по гидравликѣ профессора Ф. Е. Орлова, въ Импер. Технич. училищѣ.

$$\frac{0{,}40.0{,}005}{2.0{,}000523} = \frac{0{,}00200}{40{,}001046} = 1{,}912; \sqrt{1{,}912} = 1{,}38 \text{ м. скорости въ секунду.}$$

Примѣръ 4. Какой напоръ на погонный метръ долженъ имѣть водопроводъ радіусомъ 0,50 м. или діаметромъ 1,0 м., если скорость воды въ немъ должна быть 1 м. въ секунду. Въ таблицѣ находимъ b_2=0,000520. Квадратъ скорости умножь на удвоенное число изъ таблицы соотвѣтствующее діаметру и раздѣли на радіусъ; получится напоръ на погонный метръ

$$\frac{1^2.2.0{,}000250}{0{,}5} = 0{,}002078 \text{ м.}$$

Примѣръ 5. Какой напоръ на погонный метръ должно дать трубамъ, которыя при діаметрѣ 0,90 м. проводили бы количество воды 1,4 куб. м. въ секунду? Въ таблицѣ находимъ коэффиціентъ b_2=0,000521. Квадратъ количества воды умножь на удвоенное число b_2 изъ таблицы и еще на 3,241; произведеніе раздѣли на пятую степень діаметра; получится напоръ на погон. м.

$$i = \frac{3{,}241.2.0{,}000521.1{,}4.1{,}4}{0{,}90^5} = 0{,}0109 \text{ м.}$$

d) Формула Леви. Она имѣетъ простой видъ $v = k\sqrt{i}$ и при всѣхъ условіяхъ даетъ результаты, согласные съ опытами; при этомъ коэффиціентъ k имѣетъ нижеслѣдующія величины:

a) для трубъ, бывшихъ въ употребленіи долгое время

$$k = 20{,}5\sqrt{r(1 + 3\sqrt{r})}$$

b) для новыхъ чугунныхъ трубъ

$$k = 36{,}4\sqrt{r\,(1 + \sqrt{r})}$$

гдѣ r радіусъ водопровода. Нижеслѣдующая таблица содержитъ величины коэффиціента k для водопроводовъ, находившихся долгое время въ употребленіи. Изъ выраженія $v = k\sqrt{i}$ получается $\sqrt{i} = v/k$ и потеря напора на погонный метръ $i = (v : k)^2$.

Примѣръ. Рѣшить 3 примѣръ по формулѣ Леви. По таблицѣ Леви

$$\kappa = 21{,}97 \text{ и } v = 21{,}97\sqrt{i} = 21{,}97\sqrt{0{,}005} = 1{,}55 \text{ м.}$$

Что довольно хорошо согласуется съ данными по Дарси.

e) Формула Бресса. Можно вычислять прямо діаметръ по формулѣ Бресса:

$$= 0{,}32\sqrt[5]{\frac{Q^2}{i}} + 0{,}005.$$

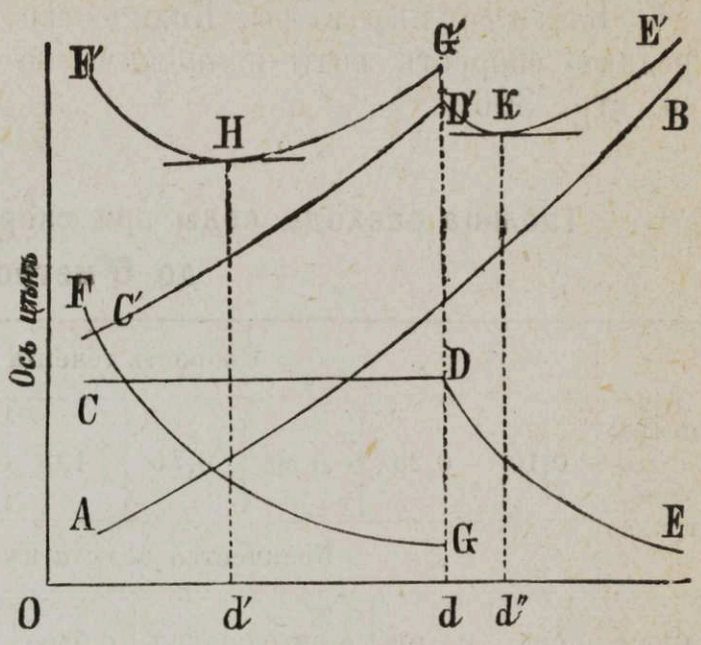
Впрочемъ, это отношеніе не примѣнимо, когда оно приводитъ къ діаметрамъ менѣе 0,06 м. Оно имѣетъ ту выгоду, что легко вычисляется при помощи счетной линейки.

Потеря напора на всей длинѣ водопровода есть $i.l$ и ее нужно вычитать изъ разности уровней, если имѣется естественное истеченіе въ концѣ водопровода. Она прибавляется къ высотѣ подниманія когда имѣется нагнетаніе, такъ что давленіе на поршни водоподъемной машины есть $H + i.l$; и работа, которую должна развивать эта машина, равняется $1000Q(H+i.l)$ килограмметровъ. Смотря по діаметру принимаемому для водопровода, членъ il измѣняется значительно и сила движущей машины, а слѣдов. и цѣна ея будетъ также измѣняться, но въ обратномъ смыслѣ. Слѣдовательно въ проектѣ водоснабженія нужно сдѣлать сравненіе расходовъ, къ которымъ приводятъ различныя величины діаметра d трубы, чтобы выбрать наименьшую цифру.

Таблица для расчета трубныхъ водопроводовъ по Леви.

Діаметръ d.	Радіусъ r.	Площадь трубы πr^2.	$k = \frac{20{,}5\sqrt{r}}{1+3\sqrt{r}}$	Величина $k \times \pi r^2$.	Діаметръ d.	Радіусъ r.	Площадь трубы πr^2.	$k = \frac{20{,}5\sqrt{r}}{1+3\sqrt{r}}$	Величина $k \times \pi r^2$.
0,01	0,005	0,000078	1,578	0,00012308	0,36	0,180	0,101787	13,099	1,33307910
0,02	0,01	0,000314	2,337	0,00073382	0,37	0,185	0,107521	13,355	1,43486774
0,027	0,0135	0,0005725	2,747	0,00157279	0,38	0,190	0,113411	13,550	1,53671905
0,03	0,015	0 000707	2,320	0,00207292	0,39	0,195	0,118459	13,796	1,64806636
0,04	0,02	0,001257	3,444	0,00 32911	0,40	0,200	0,125663	14,022	1,76204658
0 05	0,025	0,001953	3,915	0 00768514	0,41	0,205	0,132025	14,227	1,87831967
0 054	0,027	0,002290	4,100	0,00938986	0,42	0,210	0,138544	14,452	2,00223789
0,06	0,030	0,002827	4,428	0,01251795	0,43	0,215	0,145220	14,678	2,13153916
0,07	0,035	0,003848	4,776	0,01837805	0,44	0,220	0,152052	14,903	2,26603096
0,08	0,040	0,005026	5,116	0,02596431	0,45	0,225	0,159045	15,049	2,39346820
0,081	0,0405	0,005153	5,207	0,02683167	0,46	0,230	0,166190	15,334	2,54835746
0,09	0,045	0,006361	5,555	0,03533535	0,47	0,235	0,173494	15,559	2,69939314
0,10	0 050	0,007854	5 804	0,04557562	0,48	0,240	0,180955	15,764	2,85257462
0,108	0,054	0,009160	6,191	0,05671513	0,49	0,245	0,188574	15,969	3,01123721
0,11	0,055	0,009503	6,252	0,05941276	0,50	0,250	0,196345	16,195	3,17980727
0.12	0,060	0,011309	6,621	0,07487684	0,52	0,260	0,213371	16,625	3,53066889
0,13	0,065	0 013273	6,929	0,00899762	0,54	0,270	0,229021	17,035	3,90137273
0,135	0,0675	0,014313	7,052	0,10093527	0,55	0,275	0,237582	17,240	4,09591368
0,14	0,070	0,015393	7,257	0,11170700	0,56	0,280	0,246301	17,445	4,29672094
0,15	0,075	0,017671	7,564	0,13466344	0,58	0,290	0,264208	17,835	4,71214968
0,16	0,080	0,020116	7,872	0,15827443	0,60	0,300	0,282743	18,245	5,15855603
0,162	0,081	0,020612	7,913	0,16310276	0,62	0,310	0,301907	18,634	5,62573504
0,17	0,085	0,022698	8,159	0,18519298	0,64	0,320	0,321699	19,044	6,12643575
0,18	0,090	0,025446	8,466	0,21502585	0,65	0,325	0,331830	19,331	6,51460573
0,19	0,095	0,028352	8,753	0,24816505	0,66	0,330	0,342118	19,413	6,64163673
0,20	0,100	0,031415	9,040	0,28399160	0,68	0,340	0,363168	19,883	7,19181590
0,21	0,105	0,034636	9,307	0,32235725	0,70	0,350	0,384815	20,192	7,77079024
0,216	0,108	0,036643	9,471	0,34704584	0,74	0,370	0,430074	20,951	9,01068988
0,22	0,110	0,038013	9 594	0,36469672	0,75	0,875	0,441786	21,135	9,33714711
0,23	0,115	0,041547	9,860	0,40965242	0,76	0,380	0,453645	21,320	9,66171140
0,24	0,120	0,045238	10,127	0,45813593	0,78	0,390	0,477836	21,618	10,11486700
0,25	0,125	0,049087	10,399	0,51045571	0,80	0,400	0,502654	21,976	11,04632430
0,26	0,130	0,053093	10,660	0,56597138	0,82	0,410	0,528101	22,427	11,84372112
0,27	0,135	0,057255	10,906	0,62442303	0,84	0,420	0,554177	22,775	12,62143117
0,28	0,140	0,061573	11,193	0,63985521	0,85	0,425	0,567450	22,960	13,0286520
0,29	0,145	0,066052	11,418	0,75418173	0,86	0,430	0,580880	23,144	13,4438867
0,30	0,150	0,070685	11,664	0,82446980	0,88	0,440	0,608211	23,493	14,30870102
0,31	0,155	0,075476	11,910	0,89891920	0,90	0,450	0,636172	23,802	15,14216594
0,32	0,160	0,080424	12,156	0,97763414	0,92	0,460	0,664761	24,210	16,09386338
0,325	0,1625	0,082957	12,279	1,01862900	0,94	0,470	0,693978	24,559	17,0434056
0,33	0,165	0,085529	12,382	1,05902008	0,94	0,480	0,723823	24,907	18,02825946
0,34	0,170	0,090192	12,628	1,14652137	0,96	0,490	0,754296	25,256	19,05049977
0,35	0,175	0,096211	12,874	1,23852042	1,00	0,500	0,785397	25,604	20,24930478

Примѣръ. Предположимъ, что нужно изучить проектъ водоснабженія, для котораго располагаютъ гидравлическою силою опредѣленной величины и что желаютъ опредѣлить рѣшеніе, которое дастъ мѣсто наименьшему расходу на устройство, прибавляя въ случаѣ надобности паровой двигатель для подмоги. Такъ какъ поднимаемый объемъ воды опредѣленъ заранѣе, то сила, развиваемая двигателемъ, зависитъ отъ сопротивленія въ водопроводѣ; а это сопротивленіе измѣняется съ діаметромъ водопровода. Вычисляемъ стоимость водопровода при какихъ нибудь діаметрахъ и начертимъ кривую *AB* (фиг. 366), которая представляетъ цѣну водопровода, такъ какъ діаметры взяты за абсциссы. Вычисляемъ для какихъ нибудь діаметровъ гидравлическій двигатель, который нуженъ для доставленія работы при этихъ діаметрахъ и начертимъ кривую *DE*, принимая за ординаты цѣну этого двигателя. Такъ какъ паденіе предполагается извѣстнымъ, то цѣна гидравлическаго двигателя не можетъ превышать ординату *Dd* и кривая продолжается горизонтальною прямою *CD*. Ниже діаметра *d* гидравлическій двигатель недостаточенъ и избытокъ работы долженъ быть доставленъ вспомогательнымъ паровымъ двигателемъ. По нѣсколькимъ величинамъ этого избытка, вычисляемъ силу и слѣдовательно цѣну паровой машины, которую представимъ кривою *FG*.



фиг. 366.

Чтобы представить полный расходъ, сложимъ ординаты разныхъ кривыхъ и получимъ: 1) кривую *C'D'E'*, которая представляетъ расходъ на водопроводъ и на гидравлическій двигатель; эта кривая не есть опредѣленная только начиная отъ *D'*; 2) кривую *F'G'D'E'*, которая представляетъ измѣненіе расхода для всѣхъ предположеній, включая дополнительную машину. Эта кривая можетъ представлять два минимума, одинъ въ *H*, другой въ *K*; и можетъ случиться, что первый будетъ меньше втораго, что указало бы на то, что если хотятъ обойтись безъ паровой машины,—наиболѣе экономическое рѣшеніе соотвѣтствуетъ діаметру *d''* водопровода, но что имѣли бы выгоду установить паровой двигатель, принимая водопроводъ меньшаго діаметра *d'*.

2. Вѣсъ погоннаго метра чугунныхъ трубъ, типъ города Парижа, соединеніе муфтами испробованныхъ на 10 атмосферъ.

Длина. L.	1,00 и 2,00		2,00 м.		2,50 м.		
Діаметръ *d* (въ мм.)	30	35	40	45	50	54	60
Вѣсъ *p*. (въ клгр.)	5,6	6,5	7,8	10,0	11,3	12,8	14,6

L.	3,00 м.													
d.	68	75	81	100	108	120	125	135	150	162	175	200	216	250
p	16,0	18,2	22,0	27,0	31,0	34,5	36,0	37,3	40,83	47,0	50,0	56,83	65,0	75,33

L	4,00 м.							
d	300	350	400	500	600	800	1000	1000
p	96,75	120,87	150	195,25	262,5	377,0	529,37	662,0

О толщинѣ δ, придаваемой стѣнкамъ трубъ, смотри стр. 257 (и 100 по стр. маш.). Часто принимаютъ для трубъ горизонтальной отливки: $\delta = 0{,}01$ м. $+ 0{,}02\,d$ и для трубъ вертикальной отливки $\delta = 0{,}008$ м. $+ 0{,}016\,d$.

3. Количество воды. Количество воды въ секунду найдется, если среднюю скорость воды помножимъ на поперечное сѣченіе водопровода (см. стр. 306).

Таблица расхода воды при скорости теченія v отъ 0,10 до 5 метровъ.

Діаметръ d въ метрахъ.	Скорость теченія v въ метрахъ.									
	0,10	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
	Количество воды a въ литрахъ въ секунду.									
0,008	0,005	0,0125	0,0250	0,0375	0,0500	0,0750	0,1000	0,1500	0,2000	0,2500
0,010	0,0078	0,0296	0,0392	0,0588	0,0785	0,1177	0,1570	0,2350	0,3140	0,3900
0,012	0,0120	0,0300	0,0600	0,0900	0,1200	0,1800	0,2400	0,3600	0,4800	0,6000
0,014	0,0156	0,0390	0,0780	0,1170	0,1560	0,2340	0,3120	0,4630	0,6240	0,7800
0,015	0,0180	0,045	0,090	0,135	0,18	0,24	0,36	0,54	0,72	0,90
0,016	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
0,020	0,0314	0,0785	0,157	0,235	0,314	0,471	0,628	0,942	1,256	1,570
0,025	0,05	0,125	0,250	0,375	0,500	0,750	1,100	1,50	2,00	2,50
0,030	0,0706	0,176	0,353	0,528	0,706	1,059	1,412	2,118	2,824	3,530
0,040	0,125	0,314	0,628	0,942	1,256	1,884	2,512	3,768	5,024	6,280
0,050	0,196	0,490	0,981	1,470	1,962	2,943	3,924	5,886	7,848	9,810
0,060	0,282	0,705	1,411	2,115	2,822	4,233	5,644	8,466	11,288	14,110
0,070	0,385	0,960	1,925	2,780	3,850	5,775	7,700	11,450	15,400	19,250
0,080	0,50	1,25	2,50	3,75	5,00	7,50	10,00	15,00	20,00	25,00
0,090	0,63	1,59	3,18	4,77	6,36	9,54	12,72	19,08	25,44	31,80
0,100	0,78	1,96	3,92	5,88	7,85	11,77	15,70	23,55	31,44	39,25
0,120	1,13	2,82	5,64	8,46	11,29	16,93	22,58	33,87	45,16	56,45
0,150	1,76	4,41	8,83	13,23	17,66	26,49	35,32	52,98	70,64	88,30
0,160	2,00	5,00	10,00	15,00	20,00	30,00	40,00	6,000	80,00	100,00
0,180	2,54	6,37	12,71	19,11	25,43	38,14	50,86	76,20	101,70	127,10
0,200	3,14	7,85	15,70	23,55	31,40	47,10	62,80	94,20	125,60	157,00
0,220	3,80	9,50	19,00	28,50	38,00	57,00	76,00	114,00	152,00	190,00
0,240	4,52	11,30	22,60	33,90	45,20	67,80	90,40	135,60	180,80	226,00
0,250	4,90	12,25	24,50	36,75	49,00	73,50	98,00	147,00	196,00	245,00
0,280	6,15	15,37	30,75	46,11	61,50	92,25	123	184,50	246	307,50
0,300	7,0	17,5	35,0	52,5	70,0	105	140	210	280	350
0,356	10,0	25,0	50,0	75,0	100	150	200	300	400	500
0,400	12,5	31,2	62,5	93,7	125	187,5	250	375	500	625
0,450	16	40	80,0	120	160	240	320	480	640	800
0,480	18	45	90,0	135	180	270	360	540	720	900
0,504	20	50	100	150	200	300	400	600	800	1000
0,550	24	60	120	180	240	360	480	720	960	1200
0,600	28,2	70,5	141	211,5	282	423	564	846	1128	1410
0,650	33,1	82,7	165	248,1	331	496	662	993	1324	1655
0,700	38,4	96,0	192	288	384	577	768	1152	1536	1920
0,800	50	125	250	375	500	750	1000	1500	2000	2500
0,900	63,6	159	318	477	636	954	1272	1908	2544	3180
1,000	78,5	169	392	588	785	1177	1570	2355	3140	3925

Примѣръ. Цилиндрическій водопроводъ имѣетъ длину 1200 м., діаметръ 0,25 м. и полное паденіе 4,5 м.; сколько воды доставляетъ онъ въ секунду?

Прежде всего слѣдуетъ вычис ить v. Подставивъ $l=1200$; $d=0{,}25$ и $h_1=4{,}5$ въ предъидущія формулы, получимъ среднюю скорость:

а). По Прони $v=26{,}79\sqrt{\frac{0{,}25.\ 4{,}5}{1200}}-0{,}025=0{,}793$ метр.

d). По Дарси для новыхъ трубъ

$$v^2=\frac{dh}{\left(0{,}001014+\frac{0{,}0000267}{d}\right)l}=\frac{0{,}25.\ 4{,}5}{\left(0\ ,001014+\frac{0{,}0000267}{0{,}25}\right)1200}$$

Откуда $v^2=0{,}847$ и $v=\sqrt{0{,}847}=0{,}92$ метр. Для водопроводовъ старыхъ, которые содержатъ тонкій слой осадковъ или ржавчины, сопротивленіе отъ тренія будетъ вдвое больше, чѣмъ для новыхъ трубъ; слѣдовательно надо взять

$v^2=0{,}847:2=0{,}4235$; слѣдовательно $v=0{,}651$ м.

c) По Леви при $d=0{,}25$ таблица даетъ $k=10{,}399$; $\sqrt{i}=\sqrt{0{,}00375}=0{,}0612$; по этому $v=k\sqrt{i}=10{,}399.\ 0{,}0612=0{,}6364$ м.

d) По Вейсбаху. При скорости 0,80 м. коэффиціентъ $\zeta=0{,}0250$. Слѣдовательно

$$v=\sqrt{\frac{2\,g\,h_1\,d}{\zeta\,l}}=\sqrt{\frac{2.\ 9{,}81.4{,}5.0{,}25}{0{,}025.1200}}=0{,}857\ \text{м.}$$

Величина v по Вейсбаху почти согласуется съ величиною по Дарси для новыхъ водопроводовъ. Но для водопровода существующаго долгое время, надежнѣе принять величину по Прони или же вторую по Дарси.

Поэтому принимаемъ $v=0{,}70$ м. Такъ какъ поперечное сѣченіе водопровода $F=0{,}25\ d^2\ \pi=0{,}0491$ кв. м., то количество воды въ секунду $Q=0{,}70.\ 0{,}0491=0{,}03437$ куб. метр. $i=h_1/l=4{,}5:1200=0{,}00375$, и таблица Бресса при 0,25 м. даетъ $i/Q^2=3{,}71$, то $Q^2=i:3{,}71=0{,}00375:3{,}71=0{,}00101$; $Q=0{,}0316$ куб. м.

Примѣръ 2. Требуется положить водопроводъ длиною 800 м., на который нужно употребить старыя уже служившія трубы діаметромъ 0,2 м. Водопроводъ долженъ доставлять 18 литровъ воды въ секунду; какъ велико должно быть паденіе по Прони.

Поперечное сѣченіе трубъ $F=0{,}25.3{,}14.(0{,}2)^2=0{,}0314$ кв. м.
Слѣдовательно скорость $v=0{,}018:0{,}0314=0{,}5730$ метр.
Паденіе $h_1=800\ (0{,}00007.\ 0{,}573+0{,}001393.\ (0{,}573)^2):0{,}2=1{,}9840$ метр.
По таблицѣ Дарси при $d=0{,}2$ м. величина $b_2=0{,}000572$; поэтому
$h_1=800.2.0{,}000572.(0{,}573)^2:0{,}100=2{,}01$ м.

Примѣръ 3. Должно найти діаметръ цилиндрическихъ трубъ (по Прони) водопровода длиною 600 метровъ при паденіи 2 м., который долженъ доставлять 30 литровъ воды въ секунду.

Эту задачу всего удобнѣе разрѣшить способомъ приближенія.

Первая проба

Положимъ $d=0{,}25$ м; тогда площадь сѣченія трубъ$=0{,}049$ кв. м.
Слѣдовательно скорость $v=0{,}030:0{,}049=0{,}612$ метр.
Вставивъ теперь 0,61 вмѣсто v въ формулу Прони, находимъ:

$$d=(0{,}00007.\ 0{,}61+0{,}001393.\ 0{,}61^2)\ 600.2=0{,}168\ \text{м.}$$

Такъ какъ принятый діаметръ$=0{,}25$ м., а найденный $=0{,}168$ м., то истинная величина его находится между обоими.

Вторая проба.

Примемъ $d=0{,}23$ м; площадь сѣченія трубъ $=0{,}0415$ кв. м.
Слѣдовательно скорость $v=0{,}030:0{,}0415=0{,}722$ метр.

$$d=(0{,}00007.0{,}72+0{,}001393.0{,}72^2)\ 600:2=0{,}236\ \text{м.}$$

Поэтому діаметръ приблизительно = 0,23 м. или для надежности слѣдуетъ взять = 0,24 м. Такъ $i = 2/600$ и $Q^2 = (0{,}030)^2 = 0{,}0009$, то $i/Q^2 = 3{,}703$ и въ таблицѣ Бресса находимъ $d = 0{,}25$ противъ 3,710.

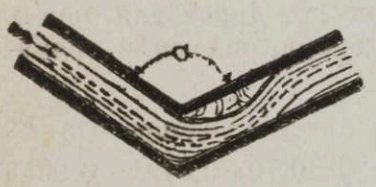
2. Потеря напора вслѣдствіе измѣненія направленія водопровода. Вейсбахъ нашелъ, что ломаное колѣно (фиг. 367) производитъ потерю въ паденіи, величину коей можно найти изъ выраженія

$$h_3 = \zeta_3 \frac{v^2}{2g} = \left(0{,}9457\ sin^2\frac{\alpha}{2} + 2{,}047\ sin^4\frac{\alpha}{2}\right)\frac{v^2}{2g}$$

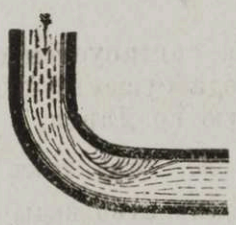
гдѣ α обозначаетъ уголъ перелома или отклоненія трубы

Уголъ отклоненія	20^0	40^0	60^0	80^0	90^0	100^0	120^0	140^0
Величина ζ_3	0,046	0,139	0,364	0,740	0,984	1,260	1,861	2,331

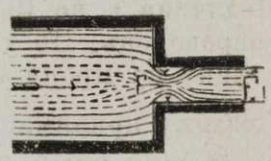
Примѣръ. Найти потерю напора въ водопроводѣ, въ которомъ вода внезапно отклоняется отъ прямаго направленія на уголъ 90^0, если она течетъ со скоростію 2 м. въ секунду?



фиг. 367.



фиг. 368.



фиг. 369.

По таблицѣ при углѣ отклоненія въ 90^0 величина $\zeta_3 = 0{,}984$ и потому потеря напора $h_3 = 0984\frac{2^2}{2.9{,}81} = 0{,}20$ м.

Эта потеря напора значительно больше, чѣмъ въ изогнутыхъ трубахъ.

Для закругленнаго колѣна (фиг. 368) по Вейсбаху

$$h_4 = \zeta_4 \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\beta}{90} = \left[0{,}131 + 1{,}848\left(\frac{d}{2}\right)^{7/2}\right]\frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\beta}{90}$$

гдѣ d діаметръ; ρ радіусъ кривизны оси трубы и β уголъ при центрѣ въ градусахъ

При $d : 2\rho =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_4	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294	0,440	0,661	0,977	1,408	1,978

Навье вывелъ изъ своихъ опытовъ слѣдующую формулу:

$$h_4 = \left(0{,}004\frac{1}{\rho} + 0{,}0186\right)\frac{s}{\rho}\frac{v^2}{2g}$$

гдѣ s длина кривой части колѣна по оси трубы.

Примѣръ. 1) Какая будетъ потеря напора, если вода въ водопроводѣ діаметромъ 0, 40 м. протекаетъ со скоростію 1 м. въ секунду чрезъ поворотъ въ 90^0, если радіусъ кривизны оси трубы равенъ 1 м?

По таблицѣ при отношеніи $d:2\rho=0{,}4:2=0{,}2$ величина $\zeta_4=0{,}138$ и потеря напора

$$h_4=\frac{1^2}{2\,9{,}81}\cdot 0{,}138=0{,}007 \text{ м.}$$

Какъ видимъ, при умѣренной скорости и большомъ радіусѣ кривизны потеря эта очень мала.

2) Если же радіусъ кривизны равенъ діаметру трубы т. е. $\rho=0{,}40$ м, то

$d:2\rho=0{,}5$ по таблицѣ $\zeta_4=0{,}294$ и потеря напора $h_4=\frac{1^2}{2{,}9{,}81}\cdot 0{,}294=0{,}015$ м.

т е. она все таки еще очень мала. При скорости 2 м. потеря напора будетъ $2^2=4$ раза больше или 60 мм.

3. Потеря напора вслѣдствіе внезапныхъ измѣненій поперечнаго сѣченія трубъ. Она опредѣляется по слѣдующимъ формуламъ:

a) Если въ трубу площади F вставлена діафрагма или перегородка съ отверстіемъ F_1

$$h_{6a}=\zeta_{6a}\cdot\frac{v^2}{2g}=\left(\frac{F}{\alpha F_1}-1\right)^2\frac{v^2}{2g}$$

b) Если труба площади F внезапно переходитъ въ узкую площади F_1 (фиг. 369) и затѣмъ снова въ широкую площади F_2

$$h_{6b}=\zeta_{6b}\,\frac{v^2}{2g}=\left[\left(\frac{F}{F_1}\right)^2\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)^2+\left(\frac{F}{F_1}-\frac{F}{F_2}\right)^2\right]\frac{v^2}{2g}$$

c) Если узкая труба F переходитъ въ широкую F_1 и снова въ узкую F_2

$$h_{6c}=\zeta_{6c}\cdot\frac{v^2}{2g}=\left[\left(1-\frac{F}{F_1}\right)^2+\left(\frac{F}{F_2}\right)^2\cdot\left(\frac{1}{\alpha_1}-1\right)\right]\frac{v^2}{2g}$$

Коеффиціентъ α имѣетъ слѣдующія величины.

Если $\frac{F_1}{F}=$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\alpha=$	0,624	0,632	0,643	0,659	0,681	0,712	0,755	0,813	0,892	0,000

При тѣхъ же значеніяхъ F_2/F_1 коффиціентъ α_1 имѣетъ туже величину какъ α для F_1/F.

Примѣръ a. Въ трубѣ 0,80 м. шириною течетъ вода со скоростію $v=1{,}4$ м. въ сек.; въ трубѣ вставлена перегородка съ отверстіемъ 0,45 м. Передъ и позади съуженія труба одинаковая. Найти потерю напора.

Площадь трубы$=0{,}7854\,.\,0{,}80^2=0{,}5026$ кв. м.$=F$

Площадь отверстія$=0{,}7854\,.\,0{,}46^2=0{,}1590$ кв. м.$=F_1$.

Таблица высотъ потери напора въ трубахъ по Дарси—Базену для старыхъ трубъ.

Для каждой скорости воды v фут. въ сек. даны въ строкѣ 1-ой—расходъ Q въ куб. фут. въ сек., и во 2-й—потеря напора $100i = 100\,\frac{h}{l}$ т. е. на 100 погон. единицъ длины трубы. Въ верхнемъ рядѣ таблицы помѣщены внутренніе діаметры трубъ въ дюйм.

v фут.	2″	3″	4″	5″	6″	7″	8″	10″	12″	14″	16″	18″	21″	24″	27″	30″	v фут.
1,0	0,0218	0,0491	0,0873	0,1363	0,1963	0,2672	0,3491	0,5454	0,7854	1,0690	1,3963	1,7671	2,405	3,142	3,976	4,909	1,0
	0,5570	0,3365	0,2320	0,1782	0,1443	0,1212	0,1043	0,0816	0,0670	0,0568	0,0493	0,0435	0,0370	0,0322	0,0285	0,0256	
1,2	0,0262	0,0589	0,1047	0,1636	0,2356	0,3207	0,4189	0,6545	0,9425	1,2828	1,6755	2,1206	2,886	3,770	4,771	5,890	1,2
	0,8021	0,4845	0,3340	0,2566	0,2078	0,1745	0,1502	0,1175	0,0964	0,0818	0,0709	0,0626	0,0533	0,0464	0,0410	0,0368	
1,4	0,0305	0,0687	0,1222	0,1909	0,2749	0,3742	0,4887	0,7636	1,0996	1,4966	1,9548	2,4740	3,367	4,398	5,566	66,872	1,4
	1,0918	0,6595	0,4546	0,3492	0,2829	0,2375	0,2045	0,1599	0,1312	0,1113	0,0965	0,0852	0,0725	0,0631	0,0558	0,0501	
1,6	0,0349	0,0785	0,1396	0,2182	0,3142	0,4276	0,5585	0,8727	1,2566	1,7104	2,2341	2,8274	3,848	5,026	6,362	7,854	1,6
	1,4260	0,8614	0,5938	0,4561	0,3695	0,3102	0,2671	0,2189	0,1714	0,1453	0,1261	0,1113	0,0947	0,0824	0,0729	0,0654	
1,8	0,0393	0,0884	0,1571	0,2454	0,3534	0,4811	0,6283	0,9818	1,4137	1,9242	2,5133	3,1809	4,329	5,655	7,157	8,836	1,8
	1,8048	1,0902	0,7516	0,5773	0,4676	0,3926	0,3381	0,2644	0,2170	0,1840	0,1596	0,1409	0,1199	0,1043	0,0923	0,0828	
2,0	0,0436	0,0982	0,1745	0,2727	0,3927	0,5345	0,6981	1,0908	1,5708	2,1380	2,7925	3,5343	4,811	6,283	7,952	9,817	2,0
	2,2282	1,3459	0,9278	0,7127	0,5773	0,4846	0,4174	0,3264	0,2678	0,2271	0,1970	0,1740	0,1480	0,1288	0,1140	0,1022	
2,2	0,0480	0,1080	0,1920	0,3000	0,4320	0,5889	0,7679	1,1999	1,7279	2,3518	3,0718	3,8877	5,292	6,911	8,747	10,799	2,2
	2,6961	1,6286	1,1227	0,8623	0,6985	0,5864	0,5050	0,3949	0,3241	0,2748	0,2384	0,2105	0,1791	0,1558	0,1379	0,1237	
2,3	0,0502	0,1129	0,2007	0,3136	0,4516	0,6147	0,8028	1,2545	1,8064	2,4587	3,2115	4,0644	5,532	7,226	9,145	11,290	2,3
	2,9467	1,7800	1,2270	0,9425	0,7635	0,6409	0,5520	0,4317	0,3542	0,3004	0,2606	0,2301	0,1958	0,1703	0,1507	0,1352	
2,4	0,0523	0,1178	0,2094	0,3272	0,4712	0,6414	0,8378	1,3090	1,8850	2,5656	3,3511	4,2412	5,773	7,540	9,543	11,781	2,4
	3,2086	4,9381	1,3361	1,0263	0,8313	0,6979	0,6010	0,4700	0,3857	0,3270	0,2837	0,2505	0,2131	0,1855	0,1641	0,1472	
2,5	0,0545	0,1227	0,2182	0,3409	0,4909	0,6681	0,8727	1,3635	1,9635	2,6725	3,4907	4,4179	6,013	7,854	9,940	12,272	2,5
	3,4815	2,1030	1,4498	1,1136	0,9020	0,7573	0,6521	0,5100	0,4185	0,3548	0,3079	0,2718	0,2313	0,2013	0,1781	0,1597	
2,6	0,0567	0,1276	0,2269	0,3545	0,5105	0,6949	0,9076	1,4181	2,0420	2,7794	3,6303	4,5946	6,254	8,168	10,338	12,763	2,6
	3,7656	2,2746	1,5680	1,2044	0,9756	0,8190	0,7053	0,5516	0,4526	0,3838	0,3330	0,2940	0,2501	0,2177	0,1926	0,1727	
2,7	0,0589	0,1325	0,2356	0,3681	0,5301	0,7216	0,9425	1,4726	2,1206	2,8863	3,7700	4,7713	6,494	8,482	10,735	13,254	2,7
	4,0608	2,4530	1,6910	1,2989	1,0521	0,8833	0,7606	0,5949	0,4881	0,4139	0,3591	0,3171	0,2698	0,2347	0,2077	0,1863	
2,8	0,0611	0,1374	0,2443	0,3818	0,5498	0,7483	0,9774	1,5272	2,1991	2,6932	3,9096	4,9480	6,735	8,796	11,133	13,744	2,8
	4,3672	2,6380	1,8186	1,3969	1,1315	0,9499	0,8180	0,6397	0,5250	0,4451	0,3862	0,3410	0,2901	0,2524	0,2334	0,2003	
2,9	0,0633	0,1423	0,2531	0,3954	0,5694	0,7750	1,0123	1,5817	2,2777	3,1001	4,0492	5,1247	6,975	9,111	11,531	14,235	2,9
	4,6847	2,8298	1,9508	1,4984	1,2137	1,0190	0,8775	0,6863	0,5631	0,4775	0,4142	0,3658	0,3112	0,2708	0,2396	0,2148	
3,0	0,0654	0,1473	0,2618	0,4091	0,5890	0,8018	1,0472	1,6362	2,3562	3,2070	4,1888	5,3014	7,216	9,425	11,928	14,726	3,0
	5,0134	3,0283	2,0876	1,6035	1,2989	1,0904	0,9391	0,7344	0,6026	0,5110	0,4433	0,3914	0,3330	0,2898	0,2564	0,2300	
3,5	0,0764	0,1718	0,3054	0,4772	0,6872	0,9354	1,2217	1,9089	2,7489	3,7415	4,8869	6,1850	8,418	10,996	13,916	17,181	3,5
	6,8237	4,1219	2,8415	2,1826	1,7679	1,4842	1,2782	0,9996	0,8203	0,6955	0,6034	0,5328	0,4533	0,3945	0,3490	0,3130	
4,0	0,0873	0,1963	0,3491	0,5454	0,7854	1,0690	1,3963	2,1816	3,1416	4,2760	5,5851	7,0686	9,621	12,566	15,904	19,635	4,0
	8,9126	5,3837	3,7114	2,8507	2,3091	1,9386	1,6694	1,3056	1,0714	0,9084	0,7882	0,6959	0,5921	0,5152	0,4558	0,4088	
4,5	0,0982	0,2209	0,3927	0,6136	0,8836	1,2026	1,5708	2,4543	3,5343	4,8105	6,2832	7,9522	10,824	14,137	17,892	22,089	4,5
	11,280	6,8137	4,6972	3,6079	2,9225	2,4535	2,1129	1,6524	1,3559	1,1497	0,9975	0,8807	0,7493	0,6521	0,5769	0,5174	
5,0	0,1091	0,2454	0,4363	0,6818	0,9817	1,3363	1,7453	2,7270	3,9270	5,3450	6,9813	8,8353	12,026	15,708	19,880	24,544	5,0
	13,936	8,4119	5,7990	4,4543	3,6080	3,0290	2,6085	2,0400	1,6740	1,4194	1,2315	1,0873	0,9251	0,8050	0,7122	0,6388	
5,5	0,1200	0,2700	0,4800	0,7499	1,0799	1,4699	1,9199	2,9997	4,3197	5,8795	7,6795	9,7193	13,229	17,279	21,868	26,998	5,5
	16,850	10,178	7,0168	5,3896	4,3657	3,6651	3,1563	2,4684	2,0255	1,7175	1,4901	1,3157	1,1194	0,9741	0,8618	0,7729	
6,0	0,1309	0.2945	0,5236	0,8181	1,1781	1,6035	2,0944	3,2725	4,7124	6,4140	8,3776	10,603	14,432	18,850	23,856	29,452	6,0
	20,053	12,113	8,3506	6,4141	5,1955	4,3618	3,7562	2,9376	2,4106	2 0440	1,7734	1,5657	1,3321	1,1592	1,0256	0,9199	
7,0	0,1527	0,3436	0,6109	0,9545	1,3744	1,8708	2,4434	3,8179	5,4978	7,4830	9,7738	12,370	16,837	21,991	27,833	34,361	7,0
	27,295	16,487	11,366	8,7303	7,0717	5,9368	5,1127	3,9984	3,2810	2,7821	2,4137	2,1312	1,8132	1,5778	1,3960	1,2502	
8,0	0,1745	0,3927	0,6981	1,0908	1,5708	2,1380	2,7925	4,3633	6,2832	8,5520	11,170	14,137	19,242	25,133	31,809	39,270	8,0
	35,651	21,535	14,845	11,403	9,2365	7,7542	6,6778	5,2224	4,2824	3,6337	3,1526	2,7836	2,3683	2,0608	1,8233	1,6353	

Отношеніе этихъ площадей $\frac{F_1}{F}=\frac{0{,}1590}{0{,}5026}=0{,}31$; ему соотвѣтствуетъ въ таблицѣ величина $\alpha=0{,}644$ и потому потеря напора

$$h_{5a}=\frac{1{,}4^2}{2\,.\,9{,}81}\left\{\frac{0{,}5026}{0{,}1590\,.\,0{,}644}-1\right\}^2=1{,}0\text{ м.}$$

Примѣръ b. Въ трубѣ съ площадью $F=0{,}85$ кв. м. течетъ вода со скоростію 1,40 м. и выходитъ въ узкое мѣсто съ площади 0,50 кв. м., позади коего находится расширеніе 0,95 кв. м. Найти потерю напора чрезъ съуженіе и расширеніе?

$$h_{6b}=\frac{1{,}40^2}{2\,.\,9{,}81}\left[\left(\frac{0{,}85}{0{,}50}\right)^2\left(\frac{1}{0{,}71}-1\right)^2+\left(\frac{0{,}85}{0{,}50}-\frac{0{,}85}{0{,}90}\right)^2\right]=0{,}110\text{ м.}$$

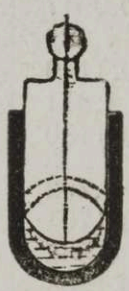
Примѣръ c. Въ трубѣ находится расширеніе и площади частей трубы $F=0{,}60$ кв. м.; $F_1=2{,}20$ кв. м. и $A_2=0{,}40$ кв. м. При F вода течетъ со скоростію 2,40 м. въ сек. Найти потерю напора.

Отношеніе $F_2/F_1={}^{0{,}40}/_{2{,}20}=0{,}18$ и ему соотвѣтствуетъ въ таблицѣ величина коэффиціента $\alpha_1=0{,}63$

$$h_{6c}=\frac{2{,}40^2}{2.9{,}81}\left[\left(1-\frac{0{,}60}{2{,}20}\right)^2+\left(\frac{0{,}60}{0{,}40}\right)^2\left(\frac{1}{0{,}63}-1\right)^2\right]=0{,}399\text{ м.}$$



фиг. 370.



фиг. 371.



фиг. 372.

4. Потеря напора отъ постановки въ трубахъ клапановъ, задвижекъ и крантовъ. Для вращающагося или горловаго клапана (фиг. 370), образующаго съ осью трубы уголъ β, потеря напора

$$h_7=\zeta_7\frac{v^2}{2g}$$

при $\beta=$	10^0	20^0	30^0	40^0	45^0	50^0	60^0	70^0
берутъ $\zeta_7=$	0,52	1,54	3,91	10,3	18,7	32,6	118	751

Для задвижекъ, помѣщенныхъ въ цилиндрическихъ трубахъ (фиг. 371).

$$h_8=\zeta_8\frac{v^2}{2g}:$$

при $\frac{s}{a}=$	0	$^1/_8$	$^2/_8$	$^3/_8$	$^4/_8$	$^5/_8$	$^6/_8$	$^7/_8$	$s=$открываемое сѣченіе;
$\zeta_8=$	0,00	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	79,8	$a=$ полное сѣченіе трубы.

Для обыкновенныхъ крантовъ, поставленныхъ въ цилиндрическихъ трубахъ (фиг. 372) : $h_9 = \zeta_9 \frac{v^2}{2g}$:

Угловое положеніе ключа : =	10°	20°	30°	40°	50°	60°	65°	$82\frac{1}{8}$°
$\zeta_9 =$	0,29	1,56	5,47	17,3	52,6	206	486	∞

110. Передача силы гидравлическимъ способомъ. Когда требуется проводить трубами большое количество воды съ естественнымъ напоромъ, то скорость воды въ трубахъ допускается отъ $\frac{3}{4}$ до $2\frac{1}{2}$ м. и даже до $3\frac{1}{2}$ м. въ секунду. Если же берутъ скорость еще больше, то во всей массѣ воды скопляется такая громадная живая сила, что при непредвидѣнной остановкѣ истеченія происходятъ сильные гидравлическіе удары и постоянныя починки водопровода. Поэтому обыкновенная скорость въ такихъ водопроводахъ 1 до $1\frac{1}{2}$ м. въ сек. При этомъ для проведенія большихъ количествъ воды потребуется столь большое сѣченіе трубы, что для промышленнаго предпріятія не выгодно строить водопроводъ длиною 1000 до 1500 м. При большихъ естественныхъ напорахъ въ 100 до 200 м. еще возможно употребить водопроводъ до 3000 м. длиною.

Но при искусственномъ напорѣ воды, когда вода помощію насосовъ и аккумуляторовъ доводится до весьма большаго давленія (до 50 и болѣе атмосферъ), условія будутъ другія, потому что количество воды, нужное для передачи той же самой силы, а вмѣстѣ съ нимъ и сѣченіе трубы будетъ меньше. Слѣдовательно нужно изслѣдовать при какихъ условіяхъ потеря напора будетъ меньше: при умѣренномъ ли давленіи и широкихъ трубахъ для большаго количества воды или при большомъ давленіи и узкихъ трубахъ для малаго количества воды.

α) Примѣръ опредѣленія потери въ узкомъ трубопроводѣ съ большою скоростію теченія воды.

1) Длина трубъ 1000 м. Діаметръ 200 мм. Скорость $\frac{1}{2}$ м. въ секунду

a) по Прони при $v=0{,}5$ м. потеря напора $i=0{,}00194$ на пог. м.;

на 1000 м. . . . . $J=1{,}94$ м.

b) по Дарси $i = \frac{2b_1}{r} \cdot v^2 = \frac{2.0{,}00057}{0{,}100} \cdot 0{,}5^2 = 0{,}00285$ м. на пог. м.;

на 1000 м. . . . . $J=2{,}85$ м.

c) по Леви $i = \left(\frac{v}{k}\right)^2 = \left(\frac{0{,}5}{9}\right)^2 = 0{,}00308$ м. на пог. м.; на 1000 м. $J=3{,}08$ м.

2) Длина трубъ 1000 м. Діаметръ 200 мм. Скорость 1 м. въ сек.

a) по Прони при $v=1$ м. потеря напора $i=0{,}007311$ м. на пог. м.;

на 1000 м. . . . . $J=7{,}311$ м.

b) по Дарси $i = \frac{2b_2}{r} \cdot v^2 = \frac{2.0{,}00057}{0{,}100} \cdot 1^2 = 0{,}0114$ м. на пог. м.; а на 1000 м. $J=11{,}400$ м.

c) по Леви $i=\left(\frac{v}{k}\right)^2=\left(\frac{1}{9{,}04}\right)^2=0{,}0123$ м. на пог.м.; а на 1000 м. $J=12{,}300$ м.

3) Длина трубъ 1000 м. Діаметръ 200 мм. Скорость 2 м. въ сек.

a) по Прони $i=0{,}02855$ мм. на пог. м.; на 1000 м. . . . . $J=28{,}550$ м.

b) по Дарси $i=\frac{2b_2}{r}v^2=\frac{2.0{,}00057}{0{,}100}.2^2=0{,}0455$ м. на пог.м.; на 1000 м. $J=45{,}600$ м.

c) по Леви $i=\left(\frac{v}{k}\right)^2=\left(\frac{2}{9}\right)^2=0{,}0492$м.на пог. м.; на 1000 м. $J=49{,}200$ м.

Отсюда видно, какъ необыкновенно быстро возрастаетъ потеря напора въ узкихъ водопроводахъ съ скоростію воды и какое серьезное нужно обратить вниманіе на выборъ діаметра трубъ, въ особенности при длинныхъ водопроводахъ, гдѣ еще встрѣчаются разнаго рода неправильности (измѣненія сѣченія вслѣдствіе развѣтвленій, задвижныхъ крантовъ, дугообразныя колѣна и не вполнѣ центрально сходящіяся соединенія трубъ). (При расчетахъ нужно, предполагать самую большую потерю напора или самыя невыгодныя условія и всего лучше руководствоваться формулами Дарси и Леви). Но всѣ опыты указываютъ, что потеря напора не зависитъ отъ давленія въ трубахъ или отъ полнаго имѣющагося рабочаго напора. Ясно, что потеря напора, будучи выражена въ частяхъ рабочаго напора, выйдетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше послѣдній, т. е. чѣмъ при большемъ давленіи работаетъ вода. Напримѣръ при длинѣ трубъ 1000 м. и при $v=\frac{1}{2}$ м. потеря напора$=3{,}08$ м.; при давленіи въ 2 атм. или 20 м. она составитъ $100\,\frac{3{,}08}{20}=15\%$, а при давленіи 20 атм. $=$ $=200$ м. только $100\,\frac{3{,}08}{200}=1{,}52\%$ всего напора; слѣдовательно для передачи силы выгодно примѣнять большія давленія. Въ гидравлическихъ прессахъ давленіе поднимается до 500 атм., но здѣсь водопроводъ всегда дѣлается очень короткій, такъ какъ чрезвычайно трудно надолго уплотнить соединенія водопровода и даже при короткихъ трубахъ требуются постоянныя починки. Длинные же водопроводы съ давленіемъ 50 атм. въ новѣйшее время употреблялись съ большимъ успѣхомъ при буреніи туннелей, такъ что это давленіе въ 500 м. можно разсматривать какъ крайній допускаемый предѣлъ, но только для меньшихъ количествъ воды, которыя тѣмъ не менѣе представляютъ уже значительную движущую силу (до 200 Л. С); а при 20 атм. давленія воды уже было построено много большихъ водопроводовъ въ 300 до 600 и болѣе мм. діаметромъ которыя служатъ весьма хорошо и не даютъ причины къ жалобамъ. Эти водопроводы даютъ уже очень достаточныя водяныя массы въ 300 и болѣе литровъ въ сек. и представляютъ уже очень большія силы, до 600 и болѣе Л. С. Чугунные водопроводы этой величины нельзя подвергать такому высокому давленію: онѣ не выдерживаютъ случающихся ударовъ; для водопровода въ 600 мм. шириною и 200 м. рабочаго напора потребно листовое желѣзо въ 18 мм. или стальные листы въ 12 до 15 мм. толщиною; всѣ швы двойные; флянцы очень толстые и обтачиваются и свертываются съ величайшимъ тщаніемъ. Мейснеръ даетъ слѣдующіе предѣлы:

a)	Трубы отъ	75 мм.	и менѣе	діаметромъ:	допускаемое	давленіе	80	до	100	атм.
b)	„	„	100 до	150 мм.	„	„	30	„	50	„
c)	„	„	150 „	300 „	„	„	20	„	40	„
d)	„	„	300 „	600 „	„	„	10	„	20	„
e)	„	„	600 „	1000 „	„	„	6	„	10	„

Теперь представляется вопросъ, какое давленіе должно выбирать собственно для передачи силы на большія разстоянія какъ надлежащее; такъ какъ для этого должно быть наибольшее практически допускаемое давленіе, то давленіе отъ 40 до 50 атм. можно разсматривать какъ вполнѣ хорошо употребляемое, потому что при этомъ давленіи 20 литровъ воды въ секунду производятъ дѣйствительную работу 100 Л. С.; а водопроводъ для столь малаго количества воды еще не получаетъ большихъ размѣровъ, такъ какъ при скорости протеканія 0,63 м. онъ долженъ имѣть діаметръ только 20 см.

На основаніи предъидущаго такой водопроводъ при скорости $v = 0{,}63$ м. причиняетъ потерю напора около 5 м. на 1000 м. длины, что отъ 50 атм.=500 м. составляетъ потерю 1 проц. на 1000 м. При разстояніи въ 10000 м. потеря была бы 10% и теоретическій предѣлъ передаваемости силы (или 100% потери) былъ бы при 100 километровъ (100 верстъ). Практическій же предѣлъ передачи силы гидравлическимъ способомъ былъ бы, при 50 километрахъ, если бы потерю силы для одного водопровода можно было допустить въ 50%. Но этого не бываетъ. Если предположимъ, что для передачи имѣется опредѣленная сила (напр. 100 Л. С) въ видѣ дѣйствительной работы (за исключеніемъ всѣхъ сопротивленій) то при утилизированіи ея въ гидравлическихъ движителяхъ потеряется 25% (т. е. 50 Л. С.). Поэтому если остатокъ изъ 75 Л. С. не долженъ быть меньше 50 Л. С., то для потери въ водопроводъ остается только 25 Л. С. Расчетъ этотъ не совсѣмъ вѣренъ, ибо потеря въ водопроводѣ происходитъ сначала и уже изъ остатка теряется 25% въ движителѣ.

Если водопроводъ причиняетъ потерю въ 33,3%, то остатокъ работы 66,7 Л. С. (или %) и если изъ этого остатка исключить дальнѣйшія 25% или 66,7.0,25=16,67 Л. С. въ видѣ потери въ движителѣ, то работа составляетъ еще 50 Л. С. или 50%. Слѣдовательно въ этомъ случаѣ потеря въ водопроводѣ въ $32\frac{1}{2}$% допустима или трубами въ 200 мм. сила могла бы передаваться на разстояніе $33\frac{1}{2}$% километра

Результатъ будетъ менѣе выгоденъ, если допускаемое давленіе воды меньше и если это давленіе имѣется не въ видѣ естественнаго напора, но должно быть создано искусственно посредствомъ насосовъ и аккумуляторовъ, что въ большей части и слѣдуетъ предполагать.

β) Потеря силы при искусственномъ приготовленіи давленія воды. Эта потеря силы въ городскихъ водоснабженіяхъ (въ коихъ вода поднимается большею частію на высоту отъ 30 до 100 и 150 м.) считается круглымъ числомъ 20%, изъ коихъ 15% теряется въ самомъ насосѣ и 5% въ трубахъ отъ насоса къ резервуару (отъ крутыхъ поворотовъ и ударнаго движенія воды въ трубахъ). Если имѣемъ для насоса 100 Л. С. дѣйствительной движущей силы, то изъ нихъ 15 Л. С. теряются въ насосѣ и 5 Л. С. въ трубахъ отъ насоса въ бассейнъ (или въ аккумуляторъ) и въ водопроводъ входятъ 80 Л. С. Если потерю въ водопроводѣ принять въ 20%, то послѣ проведенія изъ трубъ выходятъ еще 80—0,20.80=64 Л. С.; гидравлическій движитель поглощаетъ 25% или 0,25.64=16 Л. С. Дѣйствительная работа, отдаваемая движителемъ (послѣ передачи) будетъ 64—16=48 Л. С. или 48% затрачиваемой дѣйствительной рабочей силы.

При этомъ предѣлъ для передачи находится на разстояніи 30 километровъ, такъ какъ при давленіи 50 атм. діаметрѣ 200 мм., скорости v=0,51 м. и Q=16 литровъ въ секунду потеря въ водопроводѣ на 1000 м. длины его составляетъ 3,28 м. или 0,65% высоты напора, которая при 50 атм.=500 м.

γ) Полезное дѣйствіе гидравлической передачи силы при высокомъ давленіи воды отъ 25 до 50 атм. Теперь нужно изслѣдовать, какъ измѣняется полезное дѣйствіе, если передачи силы (проведеніе воды) происходитъ при другихъ условіяхъ. Прежде всего слѣдуетъ разсмотрѣть тотъ случай, когда при одинаковыхъ давленіи и скорости измѣняется передаваемая сила; слѣдуетъ замѣтить, что меньшее количество воды требуетъ меньшій діаметръ трубъ, но что этотъ меньшій діаметръ имѣетъ слѣдствіемъ бо́льшую потерю напора и что для уравновѣшенія этой потери слѣдуетъ взять либо скорость поменьше, либо діаметръ трубъ побольше. Половинная передаваемая сила обусловливала бы половинное количество воды (при одинаковомъ давленіи) и половинную площадь трубъ; при этомъ окружность и вѣсъ трубы уменьшается про-

порціонально корню квадратному изъ площади, предполагая одинаковую толщину стѣнокъ. Но толщина стѣнокъ уменьшается не прямо пропорціонально діаметру; уже на этомъ основаніи водопроводъ при меньшихъ силахъ будетъ стоить сравнительно дороже.

Нашъ водопроводъ въ 200 мм. (для 100 Л. С. или 20 литровъ воды при давленіи 500 м.) для 50 Л. С. или 10 литровъ воды получимъ площадь вдвое меньшую или діаметръ въ $\sqrt{2}=1,4$ меньшій при той же скорости воды. Кромѣ того толщина стѣнокъ этой малой трубы будетъ меньше въ пропорціи 1,4:2. Слѣдовательно вѣсъ будетъ $\frac{1,4:1,4}{2.2}=\frac{2}{4}=\frac{1}{2}$ вѣса трубы для 100 Л. С. если бы толщина стѣнокъ могла быть пропорціональна діаметру. Въ дѣйствительности вѣсъ малой трубы вмѣсто $^1/_2$ былъ бы $^2/_3$ вѣса большой. Но при діаметрѣ, уменьшенномъ въ 1,4 раза, сопротивленія при одинаковой скорости воды будутъ въ 1,4 раза больше; чтобы этого избѣжать, слѣдуетъ скорость воды уменьшить, а діаметръ на столько увеличить, чтобъ сопротивленіе на погонный метръ водопровода осталось одинаковое. Такъ какъ сопротивленія возрастаютъ почти пропорціонально квадрату скорости, то скорость должна быть меньше въ $\sqrt{1,4}$=почти въ 1,2 раза или площадь въ 1,2 раза больше. Діаметръ же долженъ въ $\sqrt{1,2}$=почти въ 1,1 раза быть больше, дабы сопротивленіе на пог. м. оставалось тоже самое. Окончательно вѣсъ трубы для половинной силы теоретически=$1,1^2.0,5=1,2.0,5=^6/_{10}$ вѣса трубы для 100 Л. С., а практически $^2/_3$ этого вѣса.

Наоборотъ при передачѣ большей силы площадь трубъ выйдетъ не вдвое больше для двойной силы, а вѣсъ и цѣна возрастаютъ въ меньшей пропорціи, нежели передаваемая сила. Но такъ какъ трудность уплотненія трубъ при бо́льшемъ діаметрѣ увеличивается, то при передачѣ бо́льшихъ силъ было бы гораздо выгоднѣе либо увеличить давленіе до 70 атм. или вмѣсто одного бо́льшаго водопровода употребить 2 меньшихъ.

Посмотримъ теперь какъ измѣняется полезное дѣйствіе если высота напора воды будетъ меньше 50 атм. Примемъ напоръ въ 250 м.; тогда для той же силы потребуется воды вдвое больше. Площадь водопровода будетъ тоже въ 2 раза больше а діаметръ его въ $\sqrt{2}=1,4$ раза больше. А вслѣдствіе этого при одинаковой скорости сопротивленія будутъ почти въ 1,4 раза меньше; поэтому можно употребить немного бо́льшую скорость и меньшій діаметръ, а именно въ пропорціи $1:\sqrt[3]{1,4}=1:1,1$. Діаметръ водопровода вмѣсто въ 1,4 раза будетъ больше въ $^{1,4}/_{1,1}=1,27$ раза, а скорость воды больше въ 1,2 раза, чѣмъ при двойномъ напорѣ воды. Вѣсъ трубъ и цѣна ихъ будутъ почти тѣже, какъ при двойномъ напорѣ, ибо толщина стѣнокъ на $^1/_2$ меньше. Но въ дѣйствительности цѣна водопровода возрастаетъ быстрѣе, чѣмъ діаметръ и можно сказать, что водопроводъ въ 1,27 раза большій будетъ около на $^1/_4$ дороже. (При половинномъ давленіи толщина стѣнокъ была бы на $^1/_2$ меньше; при діаметрѣ на $^1/_4$ большемъ она была бы на $^1/_4$ больше; поэтому она на $^1/_2-^1/_4$=не $^1/_4$ меньше). Напротивъ полезное дѣйствіе теперь будетъ значительно меньше, потому что при половинномъ напорѣ сопротивленія (на погонный метръ),

остающіяся одинаковыми, вмѣсто 0,65% всего напора на 1000 м. составятъ теперь 1,3%. Если теперь мы имѣемъ опять 100 Л. С. движущей работы, то въ бассейнѣ останется 80 Л. С. и изъ нихъ въ водопроводѣ длиною 30 километровъ теряется $1{,}3.x30=40\%=0{,}4.80=32$ Л. С., такъ что изъ водопровода выходятъ только 80—32=48 Л. С. Въ гидравлическомъ двигателѣ опять теряется 25% и окончательно получается 48—0,25.48=36 Л. С. движущей работы. Слѣдовательно полезное дѣйствіе всего сооруженія (30 километровъ разстояніе, Q=32 литра, h=250 м., Ne=100 Л. С., v=0,62 м., діаметръ=255 мм.) только 36%, т. с. $^2/_3$ полезнаго дѣйствія при напорѣ въ 500 м. и прочихъ одинаковыхъ условіяхъ. Если бы напоръ былъ естественный (безъ насосовъ), то изъ водопровода получили бы 60% движущей работы; считая потерю въ движителѣ 25%, полное полезное дѣйствіе было бы 60—0,25.60=45%.

б) Полезное дѣйствіе гидравлической передачи силы при употребленіи малаго давленія воды въ 10 атм. Для лучшаго сравненія слѣдуетъ еще изслѣдовать передачу силы на разстояніе 20 километровъ при умѣренномъ давленіи 10 атм.; дѣйствительная движущая работа насосовъ пусть 100 Л. С. и полный напоръ 100 м. или 10 атм. (высота уровня воды въ бассейнѣ надъ плоскостью, въ которой насосы берутъ воду, а гидравлическіе движители расходуютъ проведенную воду). На 100 Л. С. при 100 м. напора требуется 100 литровъ воды, изъ коихъ вслѣдствіе потери въ насосѣ поступаетъ въ бассейнъ только 80 литровъ, такъ какъ насосы и трубы до бассейна поглощаютъ 20% движущей силы. При довольно значительномъ діаметрѣ, какой получаетъ водопроводъ, примемъ для пробы скорость теченія 1 м. въ сек.; площадь водопровода $^{80}/_{10}$=8 кв. децим. и діаметръ 32 см. Потеря напора на погонный метръ водопровода для такого діаметра и скорости получается 7 мм. или 7 м. на 1 километръ. Эта потеря (при 100 м. напора) составляетъ уже 7%, при 10000 м. 70% и въ разстояніи 20 километровъ совершенно невозможно заставить воду вытекать со скоростію 1 м., такъ какъ весь напоръ въ 100 м. уже уничтожается въ разстояніи 14 километровъ вслѣдствіе сопротивленій. Возьмемъ теперь въ видѣ пробы скорость воды въ $^1/_2$ м. сек.; сопротивленія водопровода будутъ въ 2^2=4 раза меньше, т. е. 1,75 м. на километръ при одинаковой ширинѣ трубъ. Но потребное поперечное сѣченіе составляетъ только $^{80}/_5$=16 кв. дециметр. или діаметръ 45 см. При этомъ діаметрѣ и скорости $^1/_2$ м. сопротивленіе водопровода равно 1,2 мм. на погонный метръ или 1,2 м. на километръ, что при напорѣ 100 м. составляетъ $^1/_{833}$=1,2%. При 20 километрахъ потеря будетъ 24%. Поэтому изъ 80 Л. С., попавшихъ въ бассейнъ, потеряется 0,24.80=19,2 Л. С. въ трубахъ и изъ водопровода получится 80—19=61 Л. С. Изъ нихъ 25% или 15 Л. С. поглащаются въ гидравл. двигателѣ, такъ что окончательно изъ 100 Л. С. движущей работы остается 46 Л. С. дѣйствительной работы (переданной полезной работы), т. е. полезное дѣйствіе всего сооруженія 46 процентовъ. Слѣд. здѣсь тоже получается весьма выгодный результатъ при значительномъ разстояніи 20 километровъ, а построеніе водопровода этого діаметра при столь умѣренномъ давленіи не представляетъ никакой трудности; только цѣна будетъ весьма высокая.

Изъ этого примѣра видно, какъ быстро улучшается полезное дѣйствіе съ увеличеніемъ діаметра, ибо при діаметрѣ 32 см. силу совсѣмъ нельзя

Таблица полезнаго дѣйствія гидравлической передачи силы при разныхъ напорахъ.

	Полный напоръ въ м.	Полная движущая сила въ L. с.	Подробное количество воды въ лит.	Скорость воды въ трубѣ въ м. въ сек.	Ширина трубъ въ емк.	Потеря работы въ насосѣ.	Потеря работы въ трубахъ.	Потеря въ движителѣ на концѣ водопровода.	Передаваемая работа за вычетомъ всѣхъ потерь.	Полезное дѣйствіе всего сооруж. въ проц.	Разстояніе на которое передается сила.
1	500 м. естеств. напора.	100	20	0,63	20	Нуль.	1% на километ. всего=33 л. с.	25% или 17 л. с. остатокъ 50 л. с.	50 дѣйств. л. с.	50%	33 километр.
2	500 м. искуств. напора.	100	16	0,51	20	20% или 20 л. с. остатокъ 80 л. с.	20% или 16 л. с. остатокъ 64 л. с.	25% или 16 л. с. остатокъ 43 л. с.	48 дѣйств. л. с.	48	30 километр.
3	250 м. естеств. напора.	100	40	0,78	25,5	Нуль.	всег. 33%=33л.с. остатокъ 67 л. с.	25% или 17 л. с. остатокъ 50 л. с.	50 дѣйств. л. с.	50%	19 километр.
4	250 м. искуств. напора.	100	32	0,62	25,5	20% или 20 л. с. остатокъ 80 л. с.	всего 40% или 32 л. с. остатокъ 48 л. с.	25% или 12 л. с. остатокъ 36 л. с.	36 дѣйств. л. с.	36%	30 километр.
5	100 м. искуств. напора.	100	80	1,00	32	20% или 20 л. с. остатокъ 80 л. с.	всего 70% или 52 л. с. остатокъ 24 л. с.	25% или 62 л. с. остатокъ 18 л. с.	18 дѣйств. л. с.	18%	10 километр.
6	100 м. искуств. напора.	100	80	0,50	45	20% или 20 л. с. остатокъ 80 л. с.	24% или 19 л. с. остатокъ 61 л. с.	25% или 15 л. с. остатокъ 46 л. с.	46 дѣйств. л. с.	46%	20 километр.

передать на разстояніе 20 километровъ, а при діаметрѣ 45 см. получается вполнѣ выгодный результатъ.

а) Построенныя передачи силы гидравлическимъ способомъ. а) въ Гуллѣ. Она работаетъ съ іюля 1882 г. Вода берется изъ рѣки Гулль и проводится сначала въ бассейнъ, въ которомъ отлагаются крупныя нечистоты и затѣмъ фильтруется черезъ крупный песокъ, передъ поступленьемъ въ насосы. Насосы доставляютъ около 1,2 куб. м. воды въ минуту въ водопроводъ, имѣющій діаметръ 0,150 м. и длину около 3 километровъ. Вода нагнетается подъ давленіемъ 50 атмосферъ; потеря напора по сдѣланнымъ опытамъ составляетъ 1,25% на километръ. Отъ главнаго водопровода идутъ развѣтвленія къ мѣстамъ потребленія; вода служитъ преимущественно для работы крановъ, подъемныхъ каретокъ и т. п. въ большихъ складахъ. Въ новѣйшее время сдѣлалось возможнымъ примѣненіе сжатой воды для пожарныхъ цѣлей (помощію гидрантовъ Гритхеда и и Мартиндаля), при чемъ комбинируютъ работу городскаго водопровода и водопровода для передачи силы, такъ что получается очень толстая струя при достаточной высотѣ поднятія. Расходъ воды въ день около 4500 куб. м.

в) Въ Лондонѣ. Установленные на главной насосной станціи 2 центробѣжные насоса, двигаемые машинами Бротерхуда, подаютъ воду изъ Темзы въ 3 бассейна (на крышѣ зданія) емкостію 450 куб. м. Изъ нихъ она идетъ въ фильтры, каждый изъ коихъ состоитъ изъ 2 цилиндровъ, соединенныхъ между собою; они имѣютъ продырявленное дно и продырявленный поршень, который соединенъ поршнемъ съ нагнетательнаго цилиндра, сообщеннаго съ аккумуляторомъ, и отъ коего онъ опускается внизъ съ давленіемъ 7000 клгр. Черезъ это спрессовывается губка, вложенная между поршнемъ и дномъ фильтровальнаго цилиндра. Черезъ этотъ-то фильтрующій слой толщиною 30 см. и діаметромъ 1,37 м. течетъ вода изъ бассейновъ вслѣдствіе своего вѣса и поступаетъ въ бассейнъ той же емкости, какъ упомянутые. Затѣмъ вода проводится черезъ слой растительнаго угля толщиною 23 см. и площадью 5,48 м.×3,42 м. передъ поступленіемъ въ насосы. Губчатые фильтры очищаются 3 раза въ 24 часа, для чего притокъ нефильтрованной воды запирается и устанавливается сообщеніе его съ передаточнымъ водопроводомъ, но только по обратному направленію. Фильтровый поршень движется вверхъ и внизъ отъ упомянутаго гидравлическаго насоса, попеременно сжимая губку и оставляя ее свободной; сжатая вода пронизываетъ губку снизу вверхъ и промываетъ ее. Если уходъ за губкою тщательный, то 4 цилиндра доставляютъ въ часъ 450 куб. м. фильтрованной воды, которую для питья не годится, но для гидравлической передачи силы вполнѣ достаточна. Главная станція имѣетъ еще 2 насоса и 2 аккумулятора. Фильтрованная вода собирается въ бассейнѣ, изъ коего всасываютъ насосы. Каждый насосъ имѣетъ 3 стоячіе цилиндра рядомъ, поршни коихъ соединены прямо съ поршнями паровой 3 цилиндровой компаундъ машины; діаметръ поршней насосныхъ 0,13 м. и паровыхъ средняго 0,48 м. и боковыхъ 0,64 м.; ходъ 0,61 м. Каждый насосъ можетъ подать 1,35 куб. м. въ минуту въ аккумуляторы (діаметромъ 0,51 м. и ходомъ 7 м.), которые производятъ въ водопроводѣ давленіе 50 атм. Паровая машина снабжена холодильникомъ. Она приходитъ въ движеніе сама собою, лишь только

поршень аккумулятора начинаетъ опускаться и открываетъ вентиль, впускающій паръ прямо въ холодный цилиндръ. Когда машина начала двигаться, то она накачиваетъ небольшое количество воды въ нагнетательный цилиндръ, поршень коего закрываетъ названный вентиль; а тогда машина продолжаетъ накачивать до тѣхъ поръ, пока поршень аккумулятора поднимется на предназначенную высоту и черезъ него машина сама собою остановится. Обѣ машины развиваютъ 250 Л. С. индикаторныхъ, изъ коихъ 84% отдаются въ насосы. Расходъ пара 9,3 клгр. на И. Л. С.; давленіе въ котлѣ 6 атм. Имѣется другая меньшая насосная станція, включенная въ сѣть трубъ, и третья независимая отъ двухъ первыхъ, подающая воду при 28 атм. въ 70 частныхъ подъемниковъ.

Отъ главной станціи идутъ 4 главные провода въ 150 мм. шириною, состоящіе изъ чугунныхъ трубъ въ 2,7 м. длиною. На разстояніяхъ 365 м. поставлены запоры, задвижки, чтобы можно выдѣлить часть провода названной длины въ случаѣ починокъ или прибавки новой вѣтви; остальная часть провода остается въ работѣ вслѣдствіе кольцеваго расположенія. Трубы имѣютъ 2,8 см. толщины стѣнокъ и снабжены овальными флянцами; стыковыя поверхности ихъ имѣютъ выступы, которые при соединеніи двухъ трубъ входятъ одинъ въ другой какъ при муфтовомъ соединеніи и принимаетъ каучуковое кольцо. Главные запорные вентилы снабжены маленькимъ вентиломъ, который имѣетъ сѣдло въ большомъ вентилѣ; можно сначала легко отъ руки открыть маленькій вентиль, послѣ чего происходитъ разгруженіе большаго вентиля, который тогда тоже можно двигать легко. Въ 1885 году было 200 рабочихъ машинъ, при чемъ насосы поднимали 4500 куб. м. воды въ день.

111. Построеніе водопроводныхъ трубъ. При высокомъ давленіи (болѣе 100 м.) соединеніе флянцами надежнѣе. (фиг. 1, табл. 17), хотя муфтовыя трубы уже употреблялись до 150 м. давленія воды безъ всякой непріятности. Размѣры флянцевъ надписаны на рисункѣ, при чемъ толщина стѣнокъ взята за единицу. Толщина винтовъ берется $^4/_3$ толщины стѣнокъ; ихъ число $n=2+0{,}02D$, гдѣ D діаметръ трубы въ мм. Если $D<300$ мм.; то внутреннія поверхности флянцевъ обтачиваются вполнѣ гладко; тогда матеріаломъ для уплотненія служитъ жидкая замазка изъ сурика, намазанная на вырѣзанное по формѣ флянца кольцо изъ тонкаго картона. При D отъ 300 до 500 м. выгодно протачивать на флянцахъ риски, которыя обезпечиваютъ замазку отъ выталкиванія даже при большомъ давленіи въ 5 атм. При $D>500$ мм. лучше всего соединять трубы по фиг. 2 табл. 17. Для давленій свыше 5 атм. для прокладки между флянцами (на ширинѣ a въ фиг. 2 таб. 17) лучше брать свинцовое кольцо толщиною $1^1/_2$ до 3 мм., обмазанное суриковою замазкою. При діаметрѣ болѣе 450 мм. и при давленіи болѣе 10 до 15 атм. выгодно флянцы дѣлать по фиг. 3 табл. 17, при чемъ выталкиваніе свинцоваго кольца a уже невозможно, что въ противномъ случаѣ иногда происходитъ, въ особенности если уплотняемыя поверхности не имѣютъ проточенныхъ рисокъ (2 или 3 глубиною $1^1/_2$ до 2 мм. а шириною 2 до 3 мм.), но остаются гладкія. При высокомъ давленіи воды риски всегда необходимы. Въ большихъ водопроводахъ діаметромъ до 1 м. и болѣе (которые возможны только при малыхъ давленіяхъ воды (не свыше 5 атм.) можно свинцовое кольцо въ устройствѣ по фиг. 3 расчеканить извнутри. Въ

длинные трубопроводы полезно вставлять трубы расширенія по фиг. 4 или 5, таб. 17. При маломъ давленіи воды до 10 атм. всего лучше прокладывать каучуковыя кольца, каковыя продаются готовыя всѣхъ размѣровъ; если нужно избѣжать каучука, то берутъ тонкій картонъ съ сурикомъ, но флянцы надо тщательно обточить.

Если чугунная труба оказывается пропускающею воду вслѣдствіе пористости, то ее надо подогрѣть и до тѣхъ поръ натирать гарпіусомъ, пока онъ всасывается. Этимъ надежно устраняются всякія течи вслѣдствіе пористости, даже при большомъ давленіи. Нагрѣтый чугунъ обладаетъ свойствомъ связываться съ жидкимъ гарпіусомъ столь крѣпко, что чугунный цилиндръ, который течетъ какъ сито, черезъ погруженіе въ гарпіусъ (или пропитываніе онымъ) дѣлается водонепроницаемъ даже подъ самымъ высокимъ давленіемъ, которое онъ можетъ выдержать, если только течь происходитъ не отъ трещинъ или совсѣмъ видимыхъ дыръ.

Долговѣчность чугунныхъ трубъ неограниченная; есть трубопроводы, которые лежатъ въ землѣ болѣе 100 лѣтъ и еще не замѣтно уменьшеніе въ толщинѣ стѣнокъ для опоры уплотняющаго матеріала.

Въ городскихъ водо и газопроводахъ чугунныя трубы соединяются муфтами фиг. 6 и 7 табл. 17; въ промежутокъ, почти равный толщинѣ стѣнокъ, сначала заколачиваютъ плетень или кусокъ веревки и другую часть заливаютъ свинцомъ, который потомъ подчеканиваютъ. Въ новѣйшее время свинцовыя кольца заготовляются заранѣе и заколачиваются на свое мѣсто въ холодномъ видѣ. Вмѣсто свинца для уплотненія берется еще чугунная замазка, но это соединеніе совершенно жесткое и перемѣна трубъ невозможна безъ полнаго его разламыванія. Для неподвижныхъ проводовъ дешевое и прочное уплотненіе дѣлается пеньковымъ плетнемъ, пропитаннымъ горячею смѣсью смолы и кирпичной муки и крѣпко заполняющимъ всю муфту. Для удобства перемѣны трубъ употребляютъ двойныя или надвижныя муфты; при ремонтѣ худую трубу разбиваютъ, въ ближайшую муфту вставляютъ новую трубу безъ муфты и надлежащей длины. Впрочемъ двойныя муфты можно ставить на всякомъ водопроводѣ, гдѣ предвидится вѣроятность разборки (фиг. 8 табл. 17) черезъ каждыя 100 до 200 футъ длины.

Фиг. 6 и 7 табл. 17.

Толщина стѣнокъ трубы	$\delta = 8+0{,}0125\,D$	(въ мм.)
„ „ муфты	$\delta_1 = 10+0{,}0135\,D$	„
„ ободочка муфты	$k = 18+0{,}0025\,D$	„
Внутренняя длина муфты	$l_1 = 67+0{,}1100\,D$	„
Длина шейки муфты	$l_2 = 49+0{,}0900\,D$	„
Полная длина муфты. . . .	$l = 116+0{,}2000\,D$	„
Ширина промежутка	$b = 5+0{,}0070\,D$	„
Высота свинцоваго кольца . . .	$h = 28+0{,}0700\,D$	„
Высота валика	$a = 1{,}1\delta$	
Толщина стѣнокъ валика . . .	$c = \delta+b-2$	„

Если для удобства отливки валикъ не дѣлается, тогда муфта получаетъ внутри выступъ во внутрь для опоры уплотняющаго матеріала.

112. Опыты надъ новѣйшими способами уплотненія и соединенія: 1) Въ Ливерпулѣ концы трубъ на ширинѣ равной толщинѣ стѣнокъ были одна въ другую вточены конически, при чемъ одинъ конусъ былъ нѣсколько площе, дабы водопроводъ сохранилъ нѣкоторую гибкость и направленіе одной трубы относительно другой могло бы нѣсколько мѣняться. Коническія поверхности соприкасаются при этомъ на очень малой ширинѣ и водонепроницаемость стыка достигалась плетнемъ, пропитаннымъ смолою и накрѣпко загнаннымъ въ короткую муфту. Это соединеніе

оказалось хорошо во всѣхъ отношеніяхъ и съ успѣхомъ было примѣнено въ нѣсколькихъ городахъ континента. 2) Во Франціи пробовали съ шарообразными концами (фиг. 9 табл. 17) стыкъ; онъ обезпечиваетъ приготовленіе значительныхъ закругленій безъ другихъ вспомогательныхъ средствъ облегчаетъ монтировку и дастъ сравнительно малый вѣсъ трубъ. Свинца для уплотненія идетъ очень мало. Залитый свинецъ оказался плотнѣе заколоченнаго свинцоваго кольца; первый выдержалъ давленіе 10 атм. еще вполнѣ хорошо, тогда какъ при заколоченныхъ кольцахъ показалась течь уже при 6 атм., а при 10 атм. кольца были вытолкнуты изъ мѣстъ.

Въ Англіи вмѣсто свинца съ успѣхомъ употребляли клинья изъ сухой сосны даже при напорѣ 750 футъ водянаго столба; цѣны уплотненія свинцомъ, чугунною замазкою и деревомъ относятся какъ 3 : 2 : 1. Клинья вырѣзываются конически ножемъ, оформеннымъ по кривизнѣ муфты, и своими тонкими и узкими концами вставляются въ муфту въ такомъ числѣ, сколько помѣстится; потомъ заколачиваютъ ихъ всѣхъ вмѣстѣ и хвосты обрѣзываются. Послѣ разбуханія достигается вполнѣ непроницаемое соединеніе, если форма клиньевъ была вырѣзана тщательно, что при массовомъ приготовленіи достигается легко.

Другое соединеніе трубъ съ каучуковымъ тонкимъ кольцомъ (фиг. 10 табл. 17), сильно зажатымъ посредствомъ 2 желѣзныхъ скобокъ, было испробовано въ Шалонѣ и оказалось дешевымъ, упругимъ, подвижнымъ и плотнымъ; оно допускаетъ быструю укладку длинныхъ водопроводовъ.

113. Соединеніе трубъ для необыкновенныхъ случаевъ. Белль въ Кринсѣ употребилъ для водопровода въ Женевѣ соединеніе и уплотненіе по фиг. 11 табл. 17. Этотъ водопроводъ длиною 500 м. приходилось положить зимою въ рѣку Рону, а устранить воду глубиною 2 м. было невозможно; можно было только болѣе или менѣе выровнять дно рѣки помощію вычерпыванія подъ водою и поэтому слѣдовало такъ устроить водопроводъ (діаметромъ 700 мм. внутри), чтобъ онъ чрезъ погруженіе подъ водою составлялся возможно легко и быстро и въ тоже время прилегалъ къ неровностямъ дна. При укладкѣ надъ водою былъ устроенъ временный двойной мостикъ и каждая укладываемая часть водопровода опускалась помощію полиспастовъ по указаніямъ водолаза до тѣхъ поръ, пока производившееся подъ водою соединеніе было вполнѣ стянуто. Отдѣльныя части водопровода имѣли длину 20 м. и 10 м.

При изгибахъ болѣе 15 до 20 градусовъ особенно пригодно универсальное колѣно Броуна фиг. 12 табл. 17. Соединеніе имѣетъ шарообразное уширеніе, снабженное флянцами, которыя стоятъ подъ угломъ a къ оси трубы; вслѣдствіе этого одну сторону колѣна можно повернуть къ другой на произвольный уголъ между $2a$ и 180^0 и поэтому возможно соединеніе трубъ съ самыми различными отклоненіями. Оно нашло также широкое примѣненіе для небольшихъ водопроводовъ при поливкѣ улицъ; въ этомъ случаѣ одна часть колѣна вращается на другой. Расширенная часть снабжается проточкою для кожанаго или каучуковаго кольца; часть съ выступомъ входитъ въ проточку и сжимаетъ уплотняющій матеріалъ. Обѣ половинки стягиваются скобою желѣзною или помощію сквознаго винта. Это соединеніе пригодно для небольшихъ временныхъ водопроводовъ до 300 мм. діаметромъ, особенно для поливки улицъ, орошенія луговъ;

для пожарныхъ рукавовъ и т. д., ибо допускаетъ быстрое и плотное соединеніе подъ угломъ отъ 90 до 180° безъ большихъ расходовъ.

Въ Глазговѣ пришлось класть водопроводъ въ открытое русло рѣки, фиг. 14 табл. 17. Для этого случая было избрано соединеніе, по фиг. 15 и 16, съ особымъ полымъ шаровымъ шарниромъ которое вполнѣ плотно и подвижно, такъ что отдѣльныя части могутъ безпрепятственно прилегать къ неровностямъ русла рѣки. По этой же системѣ былъ уложенъ водопроводъ въ 3 фута діаметромъ въ Лондонѣ черезъ Темзу, состоящій изъ 70 трубъ длиною по 9 футъ, снабженныхъ такимъ шаровымъ шарниромъ. Уплотненіе происходило помощію плетня и сальника, фиг. 13. Чтобы устранить напряженіе въ шарнирахъ при погруженіи, каждая труба положена въ деревянный ящикъ соединяющійся съ ящикомъ слѣдующей трубы шарниромъ, средина коего лежитъ по оси шароваго шарнира; такимъ путемъ труба вращается вмѣстѣ съ ящикомъ и водопроводъ лежитъ въ деревянной оболочкѣ. Интересно то обстоятельство, что руководившій инженеръ по окончаніи водопровода имѣлъ смѣлость пролѣзть черезъ него подъ волнами рѣки.

Чугунныя водопроводныя трубы до 60 мм. не рѣдко соединяются винтовыми муфтами. Нарѣзка отливается и на концахъ трубъ, а уплотненіе дѣлается свинцевымъ кольцомъ между утолщенными закраинами. Это соединеніе по фиг. 17 и 18 табл. 17 употребляется только тогда, если обыкновенное флянцевое требуетъ слишкомъ много мѣста и при томъ только для небольшихъ трубъ и весьма высокихъ давленій.

114. Желѣзные водопроводы можно только тогда употреблять, если не необходимо класть ихъ прямо въ грунтъ. Если требуется поставить водокачку, то всасывающія трубы, пока онѣ идутъ въ колодцѣ или въ землѣ, должны быть чугунныя, тогда какъ нагнетательныя трубы отъ насоса въ бассейнъ, а также та часть всасывающихъ трубъ, которая уложена въ каменной галереѣ, могутъ быть желѣзныя. При большихъ сооруженіяхъ употребляются исключительно чугунныя трубы.

Клепаныя желѣзныя трубы соединяются посредствомъ желѣзныхъ и чугунныхъ флянцевъ и уплотняются суриковою замазкою или смолою на тонкомъ картонѣ или лучше всего каучуковыми кольцами. Фиг. 19 и 20 изображаютъ такое соединеніе. Сначала вычисляется толщина винтовъ d для соединенія по формулѣ: $d=(8+0{,}0125D)^{4}/_{3}$, гдѣ D внутр. діаметръ въ мм. Толщина желѣзнаго флянца$=^{7}/_{8}d$, чугуннаго$=^{11}/_{8}d$ и ширина флянца $b=2{,}5d$. Толщина ободочка чугуннаго флянца равняется толщинѣ винтовъ, а для желѣзнаго$=^{5}/_{8}$ толщины чугуннаго. Толщина заклепокъ$=^{3}/_{4}$ толщины винта, а ихъ число въ 1,5 раза больше толщины винта.

Примѣръ. Труба діаметромъ въ 1 м. получаетъ винты толщиною$=8+0{,}0125D=8+0{,}0125.1000=20$ мм., а число ихъ$=2+0{,}02D=2+0{,}02.1000=22$. Заклепки получаютъ толщину $^{3}/_{4}.20=15$ мм., а число ихъ$=33$ или круглымъ числомъ 36, ибо это число легко раздѣляется.

Наружный край листовъ долженъ выдаваться за средину заклепокъ не болѣе какъ на 1,5 до 1,7 толщины заклепокъ, иначе при чеканеніи листъ отдувается и плотное соединеніе дѣлается невозможнымъ. Такъ какъ изготовленіе желѣзныхъ поворотовъ трудно, то ихъ берутъ чугунные; послѣдніе при діаметрахъ болѣе 600 до 700 мм. дѣлаютъ изъ 2 половинокъ для

полученія болѣе равномѣрной и меньшей толщины стѣнокъ при отливкѣ. Половинки пристрагиваются и соединяются на каучукѣ. При сборкѣ желѣзныхъ трубъ не слѣдуетъ запускать флянцы одинъ въ другой, ибо чрезъ это замѣна испортившейся части водопровода дѣлается весьма хлопотливою.

Тянутыя и заварныя трубы обыкновенно соединяются простою нарѣзною муфтою. При очень высокомъ давленіи (100 до 200 м. и болѣе) концы трубъ обтачиваются, покрываются замазкою и стягиваются муфтою съ правою и лѣвою нарѣзкою, что надежно и просто. При передачѣ силы они употребляются даже тамъ, гдѣ подвержены быстрому окисленію, что объясняется легкостію изготовленія проводовъ даже въ кривыхъ.

115. Правила для укладки водопроводныхъ трубъ. 1) Въ наиболѣе низкихъ мѣстахъ водопровода слѣдуетъ ставить водоспускные кранты или еще лучше легко удаляемые глухіе флянцы, дабы можно было удалять скопляющіеся въ этихъ мѣстахъ землистые и иловатые осадки, которые съуживаютъ водопроводъ. Эти спускные кранты нельзя зарывать, но должно устраивать надъ ними входные колодцы длиною 0,6 м. и шириною 0,5 м.

2) Въ самыхъ высокихъ мѣстахъ длиннаго водопровода должно помѣщать либо небольшіе воздушные котлы съ воздуховыпускными крантами или одни такіе кранты (вантузы), чтобы можно было отъ времени до времени удалять скопляющійся воздухъ. Эти воздушные котлы весьма полезны также для ослабленія ударовъ движущагося водянаго столба и существенно способствуютъ долговѣчности уплотненій водопровода.

3) Во всѣхъ длинныхъ трубопроводахъ, состоятъ ли тѣ изъ чугуна или изъ листоваго желѣза, должно черезъ каждые 100 м. помѣщать уравнительный стыкъ (компенсаціонный), которые дозволяетъ безпрепятственное расширеніе и сокращеніе водопровода при измѣненіяхъ температуры. Чугунный водопроводъ расширяется при возвышеніи температуры на $16^0 P.$ на $^1/_{6000}$ своей длины, такъ что проводъ въ 100 м. удлинняется на 17 мм. Эти уравнительныя части дѣлаются по фиг. 4 табл. 17 съ пеньковою набивкою. Въ серединѣ между уравнительными частями должно водопроводъ прочно закрѣпить. При зарытыхъ трубопроводахъ уравнители не нужны, но необходимы при всѣхъ открытыхъ проводахъ, подверженныхъ существеннымъ измѣненіямъ температуры, когда упущеніе ихъ имѣетъ слѣдствіемъ поломку трубъ или стоковъ.

4) Чугунные трубопроводы, какъ встрѣчающіеся чаще другихъ и не подверженные разрушенію вслѣдствіе окисленія, всегда должно зарывать прямо въ землю, безъ каналовъ. Если въ такомъ проводѣ появится течь, то она и мѣсто, гдѣ она находится, тотчасъ же обозначится, потому что вода всегда выйдетъ наверхъ въ близкомъ сосѣдствѣ надъ худымъ мѣстомъ. Напротивъ, если употребляются закрытыя галлереи или каналы, въ которыхъ кладутъ проводъ, то часто бываетъ нужно разрыть длинный участокъ провода, такъ какъ вода выходитъ внаружу часто въ большомъ разстояніи отъ худаго мѣста. На этомъ основаніи въ новѣйшее время всѣ водопроводы кладутся прямо въ землю, даже въ наиболѣе обитаемыхъ улицахъ большихъ городовъ.

5) Трубопроводы на улицахъ должны лежать подъ мостовою на глубинѣ 6 до 7 фут. надъ ихъ верхнимъ краемъ для защиты какъ отъ сотрясеній

и ударовъ такъ и отъ промерзанія. На другихъ мѣстахъ достаточна укладка на глубинѣ около 1 м., дабы защитить проводъ отъ поврежденій, но въ особенности отъ промерзанія и отъ большихъ измѣненій температуры. При укладкѣ должно хорошенько подбить трубы въ ихъ правильномъ положеніи, дабы впослѣдствіи непроизошла неравномѣрная осадка, черезъ что происходитъ поврежденіе соединеній (стыковъ).

6) При соединеніи съ гидравлическомъ движителемъ должно при длинныхъ водопроводахъ либо устанавливать уравнительную часть или отлично закрѣпить проводъ вблизи мѣста соединенія дабы при измѣненіяхъ температуры подвиганіе происходило въ сторону противоположную движителю; въ противномъ случаѣ онъ будетъ вытолкнутъ изъ правильнаго своего положенія, вслѣдствіе чего получатся защемленіе въ подшейникахъ и т. п. недостатки.

7) Желѣзные проводы никогда не должны соприкасаться съ землею, но должны лежать на каменныхъ, деревянныхъ или (при большихъ размѣрахъ) на чугунныхъ ножкахъ или подставкахъ въ разстояніи 1 до $1^1/_2$ м. Передъ укладкой трубы должны быть въ нагрѣтомъ состояніи тщательно прокрашены смолою внутри и снаружи, что сильно замедляетъ окисленіе ихъ.

8) Передъ укладкой въ трудно доступныхъ мѣстахъ каждая чугунная труба должна быть испробована на ея плотность. Если проводъ въ такихъ мѣстахъ подверженъ большому давленію воды, то для испытанія должно употребить насосъ для пробы трубъ. Онъ состоитъ изъ обыкновеннаго ручнаго нагнетательнаго насоса съ рычагомъ, помѣщеннаго на перевозной коробкѣ. Она снабжена 2 колесами и можетъ легко перевозиться. Это нужно для того, что трубы изъ магазина обыкновенно перевозятъ прямо къ мѣсту укладки и пробу лучше всего сдѣлать тутъ же. Пробуемая труба однимъ концомъ провинчивается посредствомъ струбцинки къ флянцу пробнаго насоса, а свободный ея конецъ закрывается глухимъ флянцемъ. Манометръ на пробномъ насосѣ указываетъ давленіе. Обыкновенно пробуютъ трубы на двойное давленіе противъ того, какое они должны выдерживать постоянно.

116. Движеніе воды въ рѣкахъ и каналахъ. Русло рѣки или канала всегда нѣсколько наклонно къ горизонту; вслѣдствіе этого вода скользитъ по немъ, какъ по наклонной плоскости. Треніе воды о дно и стѣнки русла замедляютъ это движеніе на столько, что при постоянномъ паденіи и поперечномъ сѣченіи движеніе дѣлается равномѣрное (вмѣсто равномѣрно ускореннаго).

Вода движется не съ одинаковою скоростію во всѣхъ точкахъ одного и того какого-нибудь поперечнаго сѣченія. Эта скорость будетъ самая большая близь свободной поверхности въ каналѣ на срединѣ его ширины, а въ рѣкѣ надъ самымъ глубокимъ ея мѣстомъ; но съ приближеніемъ къ дну русла и къ берегамъ скорость уменьшается.

Пусть: L длина канала въ метрахъ; въ полное его паденіе въ м. (вертикальное разстояніе нижняго конца канала отъ верхняго); F площадь сѣченія массы воды въ каналѣ въ кв. м.; U подводный или омываемый периметръ въ м.; v_1 скорость на поверхности, т. е. наибольшая скорость въ сѣченіи; v средняя скорость воды и Q количество или расходъ воды въ куб. м., протекающей чрезъ какое-нибудь сѣченіе въ секунду.

Таблица вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута чугунныхъ трубъ.

Внутренній діаметръ въ дм.	Толщина стѣнокъ въ дюймахъ.							
	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/8	1 1/4	1 1/2
1	3,40	5,60	8,14	14,25	21,71	25,96	30,54	40,71
1/4	4,07	6,62	9 50	16,29	24,43	29,01	33,93	44,79
1/2	4,75	7,63	10,86	18,32	27,14	32,06	37,32	48,86
3/4	5,43	8,65	12,21	20,36	29,86	35,12	40,71	53,93
2	6,11	9,67	13,57	22,39	32,57	38,17	44,11	57,00
1/4	6,79	10,69	14,93	24,43	35,29	41,22	47,50	61,07
1/2	7,46	11,71	16,29	26,46	38,00	44,28	50,89	65,14
3/4	8,14	12,72	17,64	28,50	40,71	47,33	54,29	69,22
3	8,82	13,74	19,00	30,54	43,43	50,38	57,68	73,29
1/4	9,50	14,76	20,36	32,57	46,14	53,44	61,07	77,36
1/2	10,18	15,78	21,71	34,61	48,86	56,49	64,47	81,43
3/4	10,86	16,79	23,07	36,64	51,57	59,55	67,86	85,50
4	11,54	17,81	24,43	38,68	54,29	62,60	71,25	89,57
1/4	12,21	18,83	25,79	40,71	57,00	65,65	74,64	93,64
1/2	12,89	19,85	27,14	42,75	59,72	68,71	78,04	97,72
3/4	13,57	20,87	28,50	44,79	62,43	71,76	81,43	101,79
5	14,25	21,88	29,86	46,82	65,14	74,81	8 ,82	105,86
1/4	14,93	22,90	31,21	48,86	67,86	77,87	88,22	109,93
1/2	15,61	23,92	32,57	50,89	70,57	80,92	91,61	114,00
3/4	16,29	24,94	33,93	52,93	73,29	83,97	95,00	118,07
6	16,96	25,96	35,29	54,97	76,00	87,03	98,39	122,14
1/4	17,64	26,97	36,64	57,00	78,72	90,08	101,79	126,22
1/2	18,32	28,00	38,00	59,04	81,43	93,14	105,18	130,29
3/4	19,00	29,02	39,36	61,07	84,14	96,19	108,57	134,36
7	19,68	30,03	40,71	63,11	86,86	99,24	111,97	138,43
7 1/2	21,04	32,07	43,43	67,18	92,29	105,35	118,75	146,57
8	22,39	34,10	46,14	71,25	97,72	111,46	125,54	154,72
8 1/2	23,75	36,14	48,86	75,32	103,14	117,56	132,32	162,86
9	25,11	38,18	51,57	79,39	108,57	123,67	139,11	171,00
9 1/2	26,46	40,21	54,29	83,47	114,00	129,78	145,90	179,15
10	27,82	42,25	57,00	87,54	119,43	135,89	152,68	187,29
10 1/2	29,18	44,28	59,72	91,61	124,86	141,99	159,47	195,43
11	30,54	46,32	62,43	95,68	130,29	148,10	166,25	203,57
12	33,25	50,39	67,86	103,82	141 15	160,31	179,82	219,86
13	35,96	54,46	73,29	111,97	152,00	172,53	193,40	236,15
14	38,68	58,53	78,72	120,11	162,86	184,74	206,97	252,43
15	41,39	62,60	84,14	128,25	173,72	196,96	220,54	268,72
16	44,11	66,68	89,57	136,39	184,57	209,17	234,11	285,00
17	46 82	70,75	95,00	144,54	195,43	221,39	247,68	301,29
18	49,54	74,82	100,43	152,68	206,29	233,60	261,25	317,58

Вѣсъ двухъ флянсовъ или же одного раструба (муфты) трубы діаметромъ d и толщиною стѣнки e принимается обыкновенно равнымъ вѣсу погоннаго фута трубы, которой діаметръ въ свѣту $= d + 2e$.

Таблица для расчета вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута металлическихъ трубъ.

Трубы чугунныя (цинковыя).				Трубы.			
Толщина стѣнокъ въ дм.		Толщина стѣнокъ въ дм.		Толщина стѣнокъ въ дм.	Желѣзныя.	Мѣдныя.	Латунныя.	Свинцовыя.
1/16	0,6786	1 5/16	14,250	1/32	0,3629	0,4194	0,4006	0,5372
1/8	1,3572	3/8	14,929	1/16	0,7257	0,8388	0,8011	1,0744
3/16	2,0357	7/16	15,607	3/32	1,0886	1,2582	1,2017	1,6116
1/4	2,7143	1/2	16,286	1/8	1,4514	1,6776	1,6022	2,1488
5/16	3,3929	9/16	16,965	5/32	1,8143	2,0970	2,0028	2,6861
3/8	4,0715	5/8	17,643	3/16	2,1771	2,5164	2,4033	3,2233
7/16	4,7501	11/16	18,322	7/32	2,5400	2,9358	2,8039	3,7605
1/2	5,4287	3/4	19,000	1/4	2,9028	3,3552	3,2044	4,2977
9/16	6,1072	13/16	19,679	5/16	3,6285	4,1940	4,0055	5,3721
5/8	6,7858	7/8	20,357	3/8	4,3542	5,0328	4,8066	6,4465
11/16	7,4644	5/16	21,036	7/16	5,0799	5,8716	5,6077	7,5209
9/4	8,1430	2	21,715	1/2	5,8056	6,7104	6,4088	8,5954
13/16	8,8216	1/8	23,072	9/16	6,5314	7,5492	7,2099	9,6698
7/8	9,5001	1/4	24,429	5/8	7,2571	8,3880	8,0110	10,744
15/16	10,179	3/8	25,786	11/16	7,9828	9,2268	8,8121	11,819
1	10,857	1/2	27,143	3/4	8,7085	10,066	9,6132	12,893
1/16	11,536	5/8	28,500	13/16	9,4342	10,904	10,414	13,967
1/8	12,214	3/4	29,858	7/8	10,160	11,743	11,215	15,042
3/16	12,893	7/8	31,215	15/16	10,886	12,582	12,017	16,116
1/4	13,572	3	32,572	1	11,611	13,421	12,818	17,191

Внутренній діаметръ трубы въ дюймахъ сложить съ толщиною стѣнки и сумму помножить на соотвѣтствующій толщинѣ стѣнки и металлу табличный коэффиціентъ и на длину трубы въ футахъ; произведеніе опредѣлитъ вѣсъ трубы въ фунтахъ.

Напр. вѣсъ мѣдной трубы, діаметромъ въ $7^1/_4$, толщиною въ $^1/_4$ дм., на погонный футъ, = (7,25 + 0,25) 3,355 = 25,16 фунт.; и если длина трубы 6 фут., то вѣсъ ея = = 25,16 × 6 = 150,96 фунт. = 3 пуд. 31 фунт.

Таблица вѣса свинцовыхъ трубъ, встрѣчаемыхъ въ торговлѣ.

Внутренній діам. въ дм.	Обыкновенная длина въ фут.	Вѣсъ трубы.					
		Обыкновенной.		Средней.		Толстой.	
		Всей трубы въ пуд. и фунт.	Погоннаго фута въ фунт.	Всей трубы въ пуд. и фунт.	Погоннаго фута въ фунт.	Всей трубы въ пуд. и фунт.	Погоннаго фута въ фунт.
1/2	15	0 18	1,18	0 24	1,62	0 29	1,92
3/4	15	0 26	1,17	0 30	1,99	0 33	2,22
1	15	0 33	2,22	1 4	2,95	1 8	3,18
1 1/4	12	1 0	3,32	1 9	4,06	1 19	4,90
1 1/2	12	1 13	4,43	1 22	5,12	1 34	6,16
2	12	1 26	5,54	2 0	6,65	2 13	7,74
2	10	1 22	6,20	1 37	7,75	2 12	9,19
2 1/2	10	1 37	7,75	2 5	8,53	2 31	11,08

1. Количество воды. Оно найдется, если поперечное сѣченіе водяной призмы умножимъ на среднюю скорость

$$(1) \ldots\ldots\ldots\ldots Q = F.v$$

2. Зависимость между средней скоростію, паденіемъ и поперечнымъ сѣченіемъ канала. Паденіе h, которое должна имѣть вода въ каналѣ для того, чтобы текла съ опредѣленною скоростію, т. е. потеря паденія, производимая каналомъ, пропорціонально трущейся поверхности LU канала, почти пропорціонально квадрату скорости и обратно пропорціонально поперечному сѣченію F.

а) Формула Вейсбаха. На основаніи вышесказаннаго правила Вейсбахъ составилъ слѣдующую формулу:

$$(2) \ldots h = \zeta \frac{LU}{F} \frac{v^2}{2g} \text{ и } v = \sqrt{\frac{F}{\zeta LU} 2gh} \text{ или } \frac{h}{L} \cdot \frac{F}{U} = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Здѣсь: g обозначаетъ ускореніе при свободномъ паденіи и $= 9{,}808$ м.; слѣдовательно v^2: $2g$ есть высота, съ которой вода должна упасть, чтобы пріобрѣсти скорость v и ζ есть число, опредѣляемое изъ опыта, которое Вейсбахъ называетъ *коэффиціентомъ тренія*. Этотъ коэффиціентъ тренія зависитъ, по Вейсбаху, отъ скорости слѣдующимъ образомъ (для метрической мѣры):

$$(3) \ldots\ldots \zeta = 0{,}007409\left(1 + \frac{0{,}05853}{v}\right)$$

Изъ этой формулы получаются нижеслѣдующія величины;

При $v =$ 0,1 м.	0,2	0,4	0,6	0,8	1	3
$\zeta = 0{,}01175$	0,00958	0,00849	0,00813	0,00795	0,00784	0,00755

Отношеніе h: $L = J$ есть относительное паденіе, т. е. паденіе на единицу длины; $F : U = R$ называется среднимъ радіусомъ профиля. Поэтому

$$RJ = \zeta v^2 : 2g \text{ или } v = c\sqrt{RJ}$$

Примѣчаніе. По Эйтельвейну слѣдуетъ взять $\zeta = 0{,}007565$; поэтому

$$RJ = 0{,}007565 \frac{v^2}{2g} \text{ или } v = \sqrt{\frac{2gRJ}{\zeta}} = 50{,}9\sqrt{RJ}$$

Но послѣдующіе опыты показали, что величина ζ не постоянна; а именно она больше при малыхъ, и меньше при большихъ скоростяхъ.

b) Формула Прони. Изъ опытовъ Дюбуа и Шези, Прони составилъ слѣдующую формулу для метрической мѣры:

$$(4) \ldots\ldots h = (0{,}0000444v + 0{,}000309v^2) \frac{LU}{F}$$

Отсюда получается весьма точная формула для опредѣленія средней скорости.

$$(5) \ldots\ldots v = 58{,}85\sqrt{\frac{hF}{LU}} - 0{,}072$$

c) **Формула Дарси и Базена.** По опытамъ Дарси и Базена въ фабричныхъ каналахъ средняя скорость воды зависитъ отъ свойства стѣнокъ канала. Общая формула, дающая эту скорость, слѣдующая:

$$(6)\quad v = \sqrt{\frac{h}{\alpha\left(\left(1+\beta\frac{U}{F}\right)L\frac{U}{F}\right.}} = \sqrt{\frac{RJ}{\alpha\left(1+\frac{\beta}{R}\right)}} = c\sqrt{RJ}$$

Величины коэффиціентовъ α и β суть слѣдующія:

1. Каналы съ очень гладкими стѣнками (выстроганное дерево, цементная штукатурка и т. д.): $\alpha=0{,}00015$; $\beta=0{,}03$.

2. Каналы съ довольно гладкими стѣнками (тесаный камень, кирпичъ, нестроганныя доски и т. д.): $\alpha=0{,}00019$; $\beta=0{,}07$.

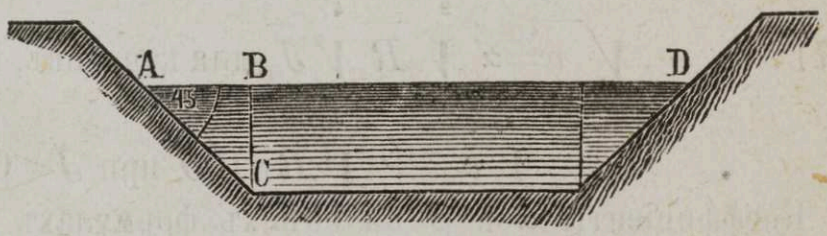
3. Каналы съ довольно неровными стѣнками (бутовая кладка и т. п.) $\alpha=0{,}00024$; $\beta=0{,}25$.

4. Каналы, коихъ дно и стѣны состоятъ изъ земли: $\alpha=0{,}00028$; $\beta=1{,}25$.

5. Каналы, коихъ дно состоитъ изъ крупнаго хряща и галекъ: $\alpha=0{,}00040$; $\beta=1{,}75$.

Примѣръ. Пусть длина канала $L=1000$ м.; полное паденіе $h=0{,}4$ м.; нижняя ширина поперечнаго сѣченія=3 м.; уголъ откоса береговъ $=45^0$ и глубина воды $=0{,}6$ м. Требуется найти среднюю скорость воды и количество ея, доставляемое въ секунду?

Такъ какъ $AB=BC=0{,}6$ м., слѣдовательно $AD=3+2.0{,}6=4{,}2$ м.
Площадь поперечнаго сѣченія, занятая водой $\frac{(3+4{,}2)}{2}.0{,}6=2{,}16$ кв. м.



фиг. 373.

Далѣе $AC=BC\sqrt{2}=0{,}6.1{,}414=0{,}848$ м.

Омываемый периметръ $3+2.0{,}848 = 4{,}696$ м.

Слѣдовательно $\frac{h.F}{L.U}=\frac{0{,}4\ .\ 2{,}16}{1000\ .\ 4{,}696} = 0{,}000184$

Если эти величины вставимъ въ предъидущія формулы, то получимъ:

a) По Прони (формула 5) . . $v=58{,}85\sqrt{0{,}000184-0{,}0072}=0{,}701$ м.

b) По Вейсбаху. Коэффиціентъ тренія (при $v=0{,}70$) будетъ $\zeta=0{,}00803$

(формула 2) . . . . . $v=\sqrt{\frac{2.9{,}808.hF}{0{,}00803.LU}}=0{,}670$ м.

c) По Дарси. При очень гладкихъ стѣнкахъ изъ формулы (6) получаемъ

$$v^2=\frac{\frac{hF}{LU}}{0{,}00015\left(1+\frac{0{,}03U}{F}\right)}=\frac{0{,}000184}{0{,}00015\left(1+\frac{0{,}03.4{,}696}{2{,}16}\right)}=1{,}115$$

Слѣдовательно. . . . . $v=\sqrt{1{,}15}=1{,}05$ м.
Точно также при довольно гладкихъ стѣнкахъ. . . . . $v=0{,}92$ „
„ „ „ „ шероховатыхъ стѣнкахъ . . . $v=0{,}70$ „
„ „ „ стѣнкахъ и днѣ изъ земли. . . . . $v=0{,}42$ „

Отсюда видно, что результаты по Вейсбаху и Прони почти согласуются между собой, а также съ результатомъ по Дарси довольно шереховатыхъ стѣнкахъ канала. Если примемъ скорость=0,67 м., то получимъ: количество воды въ секунду Q=2,16.0,67 = 1,447 куб. м.

Примѣръ 2. Водопроводный каналъ имѣетъ длину 180 м. Какъ велико д. б. полное его паденіе, дабы средняя скорость воды въ немъ была $v = 0{,}6$ м? Ширина канала r=3,1 м. и глубина воды a=0,675 м.

Смачиваемый периметръ профиля канала U=2a+b 2.0,675+3,1=4,45 м. Площадь F=b. a=3,1 0,675=2,083 кв. м. При скорости v=0,6 м. по таблицѣ коэффиціентъ сопротивленія ζ=0,00814 и потому полное паденіе.

$$h=\zeta\frac{LU}{F}\cdot\frac{r^2}{2g}=0{,}00814\ \frac{180.\ 4{,}45}{2{,}083}\cdot\frac{0{,}6^2}{29{,}81}=0{,}0574 \text{ или } 0{,}06 \text{ м.}$$

Паденіе на 1 м. длины, т. е. такъ называемое относительное паденіе или уклонъ h: l=0,06; 180=1: 3000.

d. Формулы Гауклера: Въ форм. Базена коэффиціентъ $c=\sqrt{\frac{1}{\alpha\left(1+\frac{\beta}{R}\right)}}$

былъ впервые поставленъ въ зависимость отъ перемѣнныхъ α и β, измѣняющихся съ матеріаломъ и состояніемъ поверхности ложа рѣки или канала. Но какъ оказалось впослѣдствіи и эта формула не годна для большихъ рѣкъ съ малымъ уклономъ. Это побудило Гауклера составить двѣ различныя формулы, смотря по тому: уклонъ J больше или меньше числа 0,0007, а именно:

(7) . . . . $\sqrt{v}=\alpha\sqrt[3]{R}\sqrt[4]{J}$ для каналовъ, коихъ уклонъ $J>0{,}0007$;

$$\sqrt[4]{v}=\beta\sqrt[3]{R}\sqrt[4]{J} \text{ при } J<0{,}0007.$$

Коэффиціенты α и β въ обѣихъ формулахъ суть слѣдующіе:

1) Стѣны изъ обтесаннаго камня и цемента. α=8,5 до 10; β=8,5 до 9,0.
2) Обыкновенная хорошая кирпичная кладка. α=7,6 до 8,5; β=8,0 до 8,5.
3) Кирпичныя стѣнки и природное дно. . . . α=6,8 до 7,6; β=7,7 до 8,0.
4) Каналы въ землѣ, безъ водорослей. . . . α=5,7 до 6,7; β=7,0 до 7,7.
5) Каналы въ землѣ съ обросшими берегами. α=5,0 до 5,7; β=6,6 до 7,0.
6) Рѣки (безъ щебня). . . . . α=5,0 до 5,7; β=6,4 до 7,0.

e. Формула Гумфрейса и Аббота. Въ то же время (съ 1850 года) въ Америкѣ, впродолженіе 10-ти лѣтъ, работала коммиссія инженеровъ надъ рѣшеніемъ вопроса о защитѣ валами долины рѣки Миссисипи и ея притоковъ. Результатомъ этихъ изслѣдованій, была составленная Гумфрейсъ и Абботъ формула:

$$(8)\ldots\ldots\sqrt{v}=\sqrt{0{,}0025\ k\sqrt{68{,}72\ R_1\sqrt{J}}}-0{,}05\sqrt{k}$$

$$\text{гдѣ } k=\frac{0{,}933}{\sqrt{a}+0{,}457}$$

$a=\frac{\text{поперечное сѣченіе}}{\text{средняя ширина профиля}}=\frac{F}{b}$; $R_1=\frac{F}{U+b}$, здѣсь b обозначаетъ ширину въ уровнѣ воды.

Въ сокращенной и упрощенной формѣ получается формула:

$$v = \xi \sqrt{R_1}\ \sqrt[4]{J}, \quad \text{гдѣ } \xi = 8{,}29\ \beta$$

β=0,854 для малыхъ каналовъ, коихъ площадь поперечнаго сѣченія меньше 1 к. м.
β=0,879 „ „ „ „ „ „ отъ 1 до 5 „ „
β=0,889 „ ручьевъ „ „ „ „ „ „ 5 до 10 „ „
β=0,922 „ рѣкъ „ „ „ „ „ „ 20 до400 „ „
β=0,945 „ „ „ „ „ „ „ болѣе 400 „ „

Примѣчаніе. Существенное отличіе этой формулы отъ всѣхъ остальныхъ составляетъ открытіе зависимости коэф. c отъ паденія.—Формула эта была провѣрена Гребенау на ручьяхъ прирейнской Баваріи и дала совершенно удовлетворительные результаты; но для того чтобы объявить ее общей, оставалось провѣрить ее еще на каналахъ съ большимъ паденіемъ.—Съ этого и начали авторы послѣдней предлагаемой общей формулы: они произвели наблюденія на каналахъ съ громадными уклонами отъ 0.02 до 0.23, и во всѣхъ случаяхъ скорость по формулѣ получалась въ 3 и 4 раза менѣе дѣйствительной.

Такимъ образомъ оказалось, что общей формулы, пригодной для всѣхъ случаевъ, не было, почему Гангюлье и Куттеръ—инженеры въ Бернѣ—поставили себѣ задачей составить общую формулу, въ которой средняя скорость теченія, принимая во вниманіе и параболическій законъ скоростей, выражалась бы въ зависимости 1) отъ степени неровности смачиваемаго периметра, — 2) отъ R—средняго радіуса профиля и 3) отъ уклона—J, причемъ перемѣнный коэффиціентъ долженъ быть одинъ въ зависимости отъ степени неровности смачиваемаго периметра.

f. Формула Гангюлье и Куттера. Исходя изъ формулы Базена, частію эмпирически, частію путемъ болѣе или менѣе сложныхъ построеній и выводовъ, была составлена формула и опредѣлены численныя значенія ея коэффиціентовъ.

$$(9)\ \ldots\ldots\ldots\ v = c\sqrt{RJ}, \quad c = \frac{23 + \dfrac{0{,}00155}{J} + \dfrac{1}{n}}{1 + \dfrac{n}{\sqrt{R}}\left(23 + \dfrac{0{,}00155}{J}\right)}$$

Величина n зависитъ отъ степени неровности смачиваемаго периметра и для нея могутъ быть поставлены слѣдующія среднія величины:

1) Каналы въ гладко строганыхъ доскахъ. . . . . n=0.010
2) Каналы въ доскахъ нестроганыхъ. . . . . n=0.012
3) Каналы изъ тесанаго камня или тщательной кирпичной кладки n=0.013
4) Каналы въ бутовой кладкѣ. . . . . n=0.017
5) Каналы въ землѣ, ручьи и рѣки. . . . . n=0.025
6) Русла съ крупными насосами или засоренныя водорослями. n=0.030—0.035.

Въ кривыхъ и отъ другихъ сопротивленій n увеличивается.

Предлагаемая формула сложна; но, съ одной стороны, въ виду трудности и громадной стоимости гидротехническихъ работъ вообще, а также въ виду важности преслѣдуемыхъ ими цѣлей, никакая формула не можетъ считаться сложною.

Примѣръ 1. Небольшая водяная канава имѣетъ слѣдующіе размѣры: Ширина уровня воды=2 м.; глубина=0,5 м.; смачиваемый периметръ=3 м.; площадь поперечнаго сѣченія воды=1 кв. м.; паденіе уровня воды на 1 м длины=0,001 м. По этимъ величинамъ нужно вычислить среднюю скорость для всего поперечнаго сѣченія канала.

Если будемъ расчитывать по формулѣ американскихъ строителей, то

$$R_1 = \frac{F}{U+b} = \frac{1}{3+2} = 0{,}2.$$

а средняя скорость будетъ

$$v = \beta k \sqrt{R_1 \sqrt{J}} = \beta k \sqrt{0{,}2\sqrt{0{,}001}},$$ причемъ $k=8{,}289$ и $\beta=0{,}879$; слѣдовательно

$$v = 0{,}879 . 8{,}289 \sqrt{0{,}2\sqrt{0{,}001}} = 0{,}5974 \text{ м. въ секунду.}$$

Если желаютъ сдѣлать расчетъ по болѣе точной формулѣ Гумфрейса-Аббота, то сначала найдемъ

$$k = \frac{0{,}285}{\sqrt{a+0{,}457}} = \frac{0{,}285}{\sqrt{0{,}5+0{,}457}} = 0{,}29;$$ тогда

$$v = \left(\sqrt{0{,}0081k + \sqrt{69 R_1 \sqrt{J}}} - 0{,}09\sqrt{k}\right)^2 =$$

$$= \left(\sqrt{0{,}0081 . 0{,}29 + \sqrt{69 . 0{,}2\sqrt{0{,}001}}} - 0{,}09\sqrt{0{,}29}\right)^2 = 0{,}584 \text{ м.}$$

Если напротивъ, сдѣлаемъ расчетъ по общей формулѣ Куттера, то сначала $R = F : u = 1 : 2 = 0{,}5$ и для хорошо выровненнаго канала въ землѣ безъ камней и водорослей величина $c=34{,}5$ и потому

$$v = 34{,}5\sqrt{RJ} = 34{,}5\sqrt{0{,}5 . 0{,}001} = 0{,}793 \text{ м.}$$

Для неправильнаго канала, когда $n=0{,}030$, имѣли бы $c=28{,}4$ и

$$v = 28{,}4\sqrt{RJ} = 28{,}4\sqrt{0{,}5 . 0{,}001} = 0{,}653 \text{ м.}$$

Если бы мы сдѣлали вычисленіе по формулѣ Гауклера, то скорость вышла бы очень близка къ скорости по Куттеровой формулѣ. Отсюда видно, что разность между данными новыхъ формулъ и данными по Гумфрейсу Абботу очень значительна; вслѣдствіе чего эта послѣдняя болѣе не употребляется. Вообще ее можно бы рекомендовать только тамъ, гдѣ поперечное сѣченіе воды не менѣе 5 кв. м. и среднее паденіе не болѣе 0,5 на тысячу.

Примѣръ 2. Пусть требуется расчитать величину паденія J и размѣры фабричнаго канала, который долженъ доставлять 5 куб. м. воды въ секунду и имѣть повозможности небольшую глубину. Каналъ долженъ проводиться въ песчаномъ грунтѣ и потому скорость воды не должна превышать 0,3 м. въ секунду. Если отношеніе ширины къ глубинѣ канала $= 6 : 1$, то каналъ получаетъ слѣдующіе поперечные размѣры: площадь сѣченія $= 5 : 0{,}3 = 17$ кв. м. и ширина $= 10$ м., глубина $= 1{,}7$ м.

Предположимъ, что каналъ имѣетъ прямоугольное сѣченіе (берега имѣютъ откосы, которые не входятъ въ расчетъ); прежде всего

$$z = v + 0{,}167\sqrt{k}\sqrt{v} = 0{,}3 + 0{,}167\sqrt{\frac{0{,}265}{1{,}7+0{,}457}}\sqrt{0{,}3} = 0{,}341$$

и паденіе на 1 м. длины канала будетъ:

$$J = \left(\frac{(b+u)z^2}{60F}\right)^2 = \left(\frac{(13{,}4+10)0{,}341^2}{60 . 17}\right)^2 = 0{,}00000676 \text{ м.}$$

Если желаемъ рѣшить эту же задачу по общей формулѣ Куттера, то лучше всего поступать слѣдующимъ образомъ: Примемъ въ видѣ пробы какое нибудь паденіе и ищутъ соотвѣтствующую ему скорость. Возьмемъ, напримѣръ, $J = 0{,}05 : 1000 = 0{,}00005$; то при очень правильномъ каналѣ при $R = 1{,}7$ получилъ для $C = 45{,}9$ и скорость была бы

$$v = 45{,}9\sqrt{R . J} = 45{,}9\sqrt{1{,}7 . 0{,}00005} = 0{,}415 \text{ м.}$$

Такъ какъ дѣйствительная скорость 0,3 м. гораздо меньше вычисленной, то принятое паденіе очень велико. Зададимъ въ видѣ второй пробы новое паденіе $0{,}005 : 1000 = 0{,}000005$; величина для c при степени неровности $n=0{,}025$

$$c = \frac{23 + \frac{0{,}00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}}\left(23 + \frac{0{,}00155}{J}\right)} = \frac{23 + \frac{0{,}00155}{0{,}000005} + \frac{1}{0{,}025}}{1 + \frac{0{,}025}{\sqrt{1{,}7}}\left(23 + \frac{0{,}00155}{0{,}000005}\right)} = 49{,}5;$$

скорость v будетъ

$$v = 49{,}5\sqrt{RJ} = 49{,}5\sqrt{1{,}7 . 0{,}000005} = 0{,}1435 \text{ м.}$$

Эта вторая проба даетъ скорость слишкомъ малую, слѣдовательно принятое паденіе очень мало. Въ видѣ третьей пробы беремъ паденіе 0,0002; тогда $c = 47$ и $v = 0{,}3$ м., что согласно съ дѣйств. скоростію.

Эта величина паденія (уклона) въ 3 раза больше вычисленной по американской формулѣ и потому при постройкѣ для надежности слѣдуетъ избрать большую данность.

Примѣчаніе. Величину уклона на метръ $J = h : L$ принимаютъ равною 0,00015 до 0,00030 для каналовъ, служащихъ одновременно для орошенія и для навигаціи; $= 0{,}00006$ до 0,00025 для оросительныхъ каналовъ и $= 0{,}0005$ до 0,0004 для обводныхъ каналовъ.

3. Отношеніе между наибольшею скоростью на поверхности и среднею скоростію профиля. Скорость на поверхности v_1 опредѣляется помощію поплавковъ или помощію Вольтмановой мельницы. Среднюю скорость можно опредѣлить приблизительно, по наибольшей скорости воды.

а) По Прони. Изъ многочисленныхъ наблюденій Дюбуа надъ теченіемъ воды въ каналахъ. Прони нашелъ слѣдующее соотношеніе между среднею и наибольшею скоростію теченія (для метрической мѣры).

$$(10) \ldots\ldots\ldots \frac{v}{v_1} = \frac{v_1 + 2{,}372}{v_1 + 3{,}152}$$

откуда получается слѣдующая таблица:

v_1	$v : v_1$	v_1	$v : v_1$	v_1	$v : v_1$
0,2 м.	0,767	0,7 м.	0,797	1,2 м.	0,821
0,3 „	0,774	0,8 „	0,802	1,3 „	0,825
0,4 „	0,780	0,9 „	0,807	1,4 „	0,829
0,5 „	0,786	1,0 „	0,812	1,5 „	0,833
0,6 „	0,792	1,1 „	0,817	1,6 „	0,836

b) По Дарси и Базену. Болѣе точные результаты даетъ слѣдующая формула:

$$(11) \ldots\ldots\ldots \frac{v}{v_1} = \frac{1}{1 + 14\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}}.$$

Слѣдовательно отношеніе $v : v_1$ зависитъ только отъ отношенія $F : U$. Поэтому если примемъ для $F : U = R$ опредѣленныя величины, то получимъ слѣдующую таблицу.

$R = \frac{F}{U}$ Метр.	Величины $v : v_1$				
	Строганое дерево и цементъ.	Лещадь и не строганое дерево.	Кладки изъ бутоваго камня.	Земля.	Гальки хрящь.
0,10	0,84	0,80	0,71	0,54	0,45
0,20	0,85	0,82	0,76	0,61	0,53
0,30	0,85	0,82	0,77	0,65	0,58
0 40	0,85	0,83	0,78	0,68	0,61
0,50	0,85	0,83	0,79	0 70	0.63
0,70	0,85	0,83	0,80	0,72	0,66
1,00	0,85	0,83	0,81	0,74	0,68
1,50	0,85	0,84	0,81	0,76	0,71
2,00	0,85	0,84	0,81	0,77	0,72
3,00	0,85	0,84	0,82	0,78	0,74
4,00	0,85	0,84	0,82	0,79	0,05
5,00	0,85	0,84	0,82	0,79	0,76
6,00	0,85	0,84	0,82	0,80	0,76

Примѣръ. Пусть посредствомъ поплавка найдена наибольшая скорость 0,60 м. и пусть отношеніе $F : U = 0{,}45$; тогда отношеніе $v : v_1$ по Прони=0,792 по Дарси и Базену для канала, коего стѣнки и дно состоятъ изъ земли=0,687; поэтому

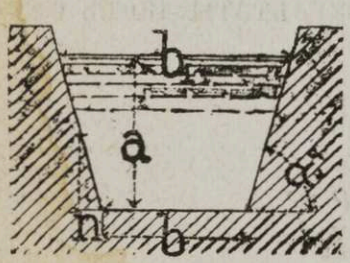
Средняя скорость по Прони. . . . . 0,792.0,6=0,475 м.
„ „ по Дарси и Базену. . . . . 0,687.0,6=0,412 „

4. Уменьшеніе скорости по вертикальному направленію. Въ вертикальной плоскости, параллельной направленію потока, водяная струйка, имѣющая среднюю скорость изъ всѣхъ водяныхъ струй этой плоскости, находится почти на 0,55 до 0,60 глубины воды подъ уровнемъ ея. Струя, имѣющая наибольшую скорость, находится не на поверхности, но подъ нею, а именно на 0,33 глубины. Ошибка будетъ весьма незначительна, если примемъ въ этомъ случаѣ, что струя средней скорости лежитъ на 0,6 глубины.

Отношеніе средней скорости v въ вертикальной плоскости къ наибольшей v_1 обыкновенно находится между 0,95 и 0,78; отношеніе скорости на днѣ v_0 къ наибольшей скорости v_1 колеблется между 0,83 и 0,4. Чѣмъ ложе шероховатѣе и положе, тѣмъ меньше v и v_0 въ сравненіи съ v_1.

5. Наименьшая и наибольшая скорости въ каналахъ. Если въ каналѣ не должны отлагаться никакія вещества, то средняя скорость въ секунду должна быть не менѣе:

если вода несетъ съ собою только легкій илъ (муть) . v=0,21 м.
если опасаются осажденіе песка . . . . . v=0,42 »



фиг. 374.

Дабы бока и дно канала не размывало водою, скорость ея не должна превосходить слѣдующихъ величинъ: (см. табл. на стр. 361).

6. Наивыгоднѣйшій поперечный профиль канала (фиг. 374). Уголъ наклона α и откосъ $n = \operatorname{cotg}\alpha$ береговъ канала зависятъ отъ свойствъ употребляемыхъ матеріаловъ. Для каналовъ въ каменной кладкѣ $\alpha = 90^0$, $n = 0$. Для стѣнокъ изъ сухой каменной кладки: $\alpha = 63^0 27'$, $n = 1/2$. Для стѣнокъ въ плотной землѣ: $\alpha = 45^0$, $n = 1$. Для песчаныхъ береговъ или въ разрыхленной землѣ: $\alpha = 26^0 33'$, $n = 2$.

Свойство ложа.	Скорость на поверхности.	Средняя скорость воды.	Высшій предѣлъ скорости на днѣ.
Разрыхленная земля.	0,15	0,11	0,08
Жирная глина.	0,30	0,23	0,16
Песокъ	0,60	0,46	0,31
Крупный песокъ (Гравій)	1,22	0,96	0,70
Кремень голышъ.	1,52	1,23	0,94
Конгломератъ, сланецъ.	2,22	1,86	1,49
Слоистыя горныя породы	2,75	2,27	1,82
Плотный камень	4,27	3,69	3,14

Самая лучшая форма береговъ есть трепецевидная. Расчетъ дѣлается по слѣдующимъ формуламъ:

$$a = \sqrt{\frac{2-\cos\alpha}{F\sin\alpha}};\ b = \frac{F}{a} - a \,.\, \operatorname{cotg}\alpha;\ b_1 = \frac{F}{a} + a \,.\, \operatorname{cotg}\alpha$$

гдѣ F сѣченіе; a глубина; b_1 ширина на поверхности; b ширина на днѣ и α уголъ откоса береговъ.

Иногда даютъ каналамъ полукруглое сѣченіе.

Принимая за единицу площадь, содержащуюся въ данномъ периметрѣ, получимъ слѣдующую таблицу, которая даетъ размѣры различныхъ формъ профиля. Для профиля съ площадью F, нужно умножать на $\sqrt{F}$ величины, содержащіяся въ столбцахъ 3, 4, 5, 6 и 7.

Размѣры различныхъ поперечныхъ профилей.

Уголъ откоса. α	Относительный откосъ. n	Глубина. a	Нижняя ширина. b	Ширина откоса. na	Верхняя ширина. b_1	Омываемый периметръ
90°	0	0,707	1,414	0	1,414	2,828
60°	0,577	0,760	0,877	0,439	1,755	2,632
45°	1,000	0,740	0,613	0,740	2,092	2,704
40°	1,192	0,722	0,525	0,860	2,246	2,771
36° 52′	1,333	0,707	0,471	0,943	2,357	2,828
35°	1,402	0,697	0,439	0,995	2,430	2,870
30°	1,732	0,664	0,356	1,150	2,656	3,012
26° 34′	2,000	0,636	0,300	1,272	2,844	3,144
Полукругъ.	—	0,798	—	—	1,596	2,507

5. Устройство новаго канала. Когда требуется провести новый каналъ, то обыкновенно дается длина его и количество воды, которое онъ долженъ доставлять въ секунду, равно какъ и средняя скорость воды.

Чѣмъ больше скорость воды, тѣмъ меньше могутъ быть размѣры поперечнаго сѣченія канала, такъ что если водѣ сообщить наибольшую скорость, допускаемую почвой, тогда размѣры будутъ имѣть наименьшую величину, и устройство канала обойдется дешевле; но тогда паденіе должно быть велико, что во многихъ случаяхъ, въ особенности въ тѣхъ, гдѣ вода должна совершать извѣстную механическую работу, вовсе невыгодно (см. отдѣлъ о работѣ воды).

Если водѣ сообщить небольшую скорость, то размѣры поперечнаго сѣченія должны бы быть больше и стоимость канала выше; но зато тогда достаточно очень небольшаго паденія для того, чтобы водѣ сообщить данную скорость; отъ этого выигрывается паденіе воды, а слѣдовательно и запасъ силы, заключающейся въ водѣ, какъ двигателѣ. Во всякомъ отдѣльномъ случаѣ должны быть приняты во вниманіе эти два обстоятельства; нужно соображаться съ выгодами, доставляемыми въ каждомъ частномъ случаѣ тѣмъ или другимъ родомъ постройки.

Всѣ вопросы, встрѣчающіеся при устройствѣ новаго канала, приводятся къ слѣдующей одной задачѣ:

Зная длину канала и количество воды, которое онъ долженъ доставлять въ секунду, слѣдовательно среднюю скорость воды, найти высоту паденія и размѣры поперечнаго сѣченія.

Примѣръ. Требуется провести каналъ длиной въ 1500 м., который доставлялъ бы въ секунду 1,8 кубич. метр. воды, при средней скорости=0,9 м.; видъ поперечнаго сѣченія долженъ быть прямоугольникъ, котораго ширина въ четыре раза больше глубины. Какъ велико должно быть паденіе и каковы должны быть размѣры поперечнаго сѣченія?

Площадь поперечнаго сѣченія F (по формулѣ 1) . . . $1,8 : 0,9 = 2$ кв. м.
Пусть ширина канала b; то его глубина $= 0,25b$.
Слѣдовательно площадь сѣченія массы воды $b\ 0,25b = 0,25b^2$
Чрезъ приравниваніе обѣихъ величинъ поперечнаго сѣченія получимъ . . . . . $0,25b^2 = 2$ „ „
Слѣдовательно ширина канала. . . . . $b = 2,828$ „
а вмѣстѣ съ тѣмъ глубина воды . . . . . $2,828 : 4 = 0,707$ „
Отсюда омываемый периметръ . . . . . $2,828 + 2.0,707 = 4,242$ „
Подставивъ теперь величины L, F, u, v въ предъидущія формулы, получимъ

а) по Вейсбаху

Коэффиціентъ тренія . . . . . $\zeta = 0,00789$

Паденіе . . . . . $h = 0,00789 \frac{1500.4,242}{2} . \frac{0,9^2}{2.9,808} = 1,036$ м.

b) по Прони

$$h = (0,0000444.0,9 + 0,000309.0,92)\frac{1500.4,242}{2} = 0,930 \text{ „}$$

c) по Дарси (формула 8)

$$h = 0,00024\left(1 + \frac{0,25.4,242}{2}\right)\frac{1,500.4,242}{2}.0,9^2 = 0,946 \text{ „}$$

117. Способы опредѣленія расхода воды. 1. Происхожденіе водныхъ потоковъ. Вода дѣйствіемъ силы тяжести и солнечной теплоты находится въ постоянномъ круговращеніи. Теплота обращаетъ воду въ паръ, который имѣя плотность меньшую нежели воздухъ въ низшихъ слояхъ атмосферы принимается до той высоты, на которой его плотность равняется плотности воздуха, собирается тамъ и остается до тѣхъ поръ пока не попадетъ въ потокъ холоднаго воздуха, который отнимая у него теплоту сгущаетъ его смотря по обстоятельствамъ то въ капельную жидкость, то въ снѣгъ или ледъ. Но во всѣхъ этихъ трехъ видахъ вода тяжелѣе воздуха, а потому падаетъ на землю въ видѣ дождя, снѣга или града.

2. Количество водяныхъ осадковъ. Ниже показано среднее количество падающей воды въ разныхъ мѣстностяхъ, выраженное высотою столба въ сантиметрахъ и дюймахъ:

Астрахань	54	21,25	Москва	54	21,25
Архангельскъ . . .	41	16,00	Нерчинскъ	39	15,70
Барнаулъ	23	9,05	Николаевъ	34	13,40
Богословскъ	39	15,70	Одесса	36	14,15
Варшава	58	22,80	Оренбургъ	44	17,30
Вильна	44	17,30	Петербургъ	45	17,70
Горки	48	18,90	Пятигорскъ	42	16,40
Енисейскъ	41	16,00	Польша	50	19,70
Екатеринбургъ . . .	34	13,40	Самара	39	15,70
Златоустъ	47	18,50	Симферополь	33	13,30
Казань	35	13,80	Севастополь	41	16,00
Кіевъ	49	19,30	Тифлисъ	49	19,30
Кишеневъ	45	17,70	Тобольскъ	46	18,10
Кострома	49	19,30	Харьковъ	55	21,65
Лугань	33	13,00	Черниговъ	43	16,80

Каждый дюймъ выпадающаго дождя составляетъ на одну кв. версту 1020000 куб. ф, или 2380000 ведеръ воды.

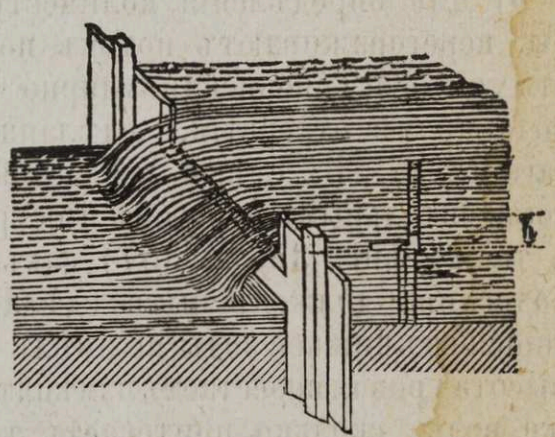
3) Вѣроятный средній притокъ рѣки. Наблюденія, произведенныя надъ многими большими рѣками Западной Европы, показали, что количество воды, доставляемое ими=всего $^1/_3$ до $0{,}_{58}$ полнаго количества дождевой воды, выпадающей въ предѣлахъ бассейна рѣки *).

Означимъ чрезъ S кв. м. поверхность бассейна данной рѣки, чрезъ h м. такъ-называемую годичную высоту дождя для данной мѣстности, Sh куб. метр. будетъ означать годичное количество дождевой воды. Средній притокъ воды въ устьѣ рѣки въ 1 секунду будетъ =

$$\dot{Q}_c = k.\frac{Sh}{365.24.60.60},$$

гдѣ k опытный коэффиціентъ, средн. числомъ $=0{,}_{53}$, какъ это видно изъ слѣдующей таблицы.

Остальное количество дождя $(1—k)$ Sh теряется въ видѣ испареній, чрезъ просачиваніе, для питанія растеній и т. п.



фиг. 375.

*) См., напримѣръ, соч.: „Der Wasserbau von M. Becker“ 1861

Названіе рѣкъ.	Qc	k
	Куб. м. въ 1 сек.	
Гаронна . . .	588	0,65
Рона	1718	0,57
Бренна . . .	—	0,32
Сена	25[illegible]	0,33
		Сред. чис. 0,53

4. Среднею скоростію потока называютъ ту постоянную скорость, съ которою должны двигаться всѣ частицы воды чрезъ поперечное сѣченіе опредѣленной величины для того, чтобы въ данное время протекло чрезъ него такое же количество воды, какое въ тоже время протекаютъ, когда эти частицы движутся съ своею дѣйствительною скоростію.

По Герстнеру средняя скорость въ поперечномъ сѣченіи составляетъ только $v=0{,}83v_1$. Результаты формулъ Прони и Базена помѣщены на стр. 360.

5. Опредѣленіе количества воды, протекающей чрезъ данное поперечное сѣченіе. Количество воды, протекающей въ потокѣ можетъ быть опредѣлено посредствомъ: 1) особыхъ приборовъ, опредѣляющихъ скорость теченія; 2) или же при помощи поперечной запруды *) и истеченіе при опредѣленныхъ условіяхъ, при коихъ можно примѣнить вышеуказанныя формулы.

a) Для опредѣленія количества протекающей воды по первому способу прежде всего опредѣляютъ наибольшую скорость v_1 теченія потока на его срединѣ, потомъ, находятъ величину средней скорости v, затѣмъ находятъ величину поперечнаго сѣченія потока, измѣряя его глубину по всей его ширинѣ въ одной и той же поперечной профили. Вычисливъ площадь этой профили F, и помноживъ ее на среднюю скорость v, получимъ произведеніе Fv, которое и покажетъ объемъ воды протекающей чрезъ данное поперечное сѣченіе въ секунду.

b) Для опредѣленія количества воды при помощи поперечной запруды, перегораживаютъ потокъ посредствомъ шпунтовой стѣнки изъ толстыхъ досокъ перпендикулярно къ направленію теченія, заботясь чтобы вода кромѣ отверстія, сдѣланнаго въ стѣнѣ, не имѣла никакого другаго стока. Въ стѣнѣ дѣлается искусственный водосливъ съ острымъ горизонтальнымъ порогомъ и острыми вертикальными стѣнками (фиг. 375, а также фиг. 356 и 357) какъ сказано объ этомъ на стр. 295. Порогъ водослива долженъ быть сдѣланъ въ такой высотѣ отъ почвы, чтобы горизонтъ нижней воды не имѣлъ вліянія на утекающую воду. Какъ только высота уровня перестаетъ измѣняться, что бываетъ, когда стекаетъ столько же воды, сколько притекаетъ тогда помощью шеста mn измѣряютъ высоту давленія, т. е. разстояніе уровня отъ порога водослива; эту высоту давленія нужно, впрочемъ, измѣрять на разстояніи по-крайней-

*) Непосредственное измѣреніе расхода воды помощію сосудовъ опредѣленной вмѣстимости представляетъ примитивный способъ и рѣдко можетъ быть примѣняемъ.

мѣрѣ отъ 1 до 2 метровъ выше водослива, потому что у самаго отверстія уровень нѣсколько понижается (приблизительно на $^1/_5$ глубины) или же измѣрять ее высотою водянаго столба въ отрытой стеклянной трубкѣ, установленной непосредственно у водослива и доходящей почти до дна резервуара. Величины расхода даны въ нижеслѣдующей таблицѣ Редтенбахера.

Расходъ воды черезъ водосливъ, ширина котораго равна ширинѣ канала.

Величина расхода воды Q въ литрахъ на 1 метръ ширины водослива.

Высота давленія въ метр.	Расходъ воды въ литрахъ.	Высота давленія въ метр.	Расходъ воды въ литрахъ.	Высота давленія въ метр.	Расходъ воды въ литрахъ.	Высота давленія въ метр.	Расходъ воды въ литрахъ.
0,050	21,9	0,102	64,0	0,174	142,4	0,250	245,2
0,052	23,3	0,106	67,8	0,178	147,3	0,255	252,6
0,054	24,6	0,110	71,6	0,182	152,3	0,260	260,1
0,056	26,0	0,114	75,5	0,186	157,3	0,265	267,7
0,058	27,4	0,118	79,5	0,190	162,5	0,270	275,2
0,060	28,8	0,122	83,6	0,194	167,6	0,275	282,9
0,062	30,3	0,126	87,8	0,198	172,8	0,280	290,7
0,064	31,8	0,130	92,0	0,202	178,2	0,285	298,6
0,066	33,3	0,134	96,3	0,206	183,5	0,290	306,4
0,068	34,8	0,138	100,6	0,210	188,8	0,295	314,4
0,070	36,3	0,142	105,0	0,214	194,2	0,300	322,4
0,074	39,5	0,146	109,4	0,218	199,6	0,305	330,5
0,078	42,7	0,150	114,0	0,222	205,2	0,310	338,7
0,082	46,1	0,154	118,6	0,226	210,8	0,315	346,9
0,086	49,5	6,158	123,2	0,230	216,4	6,320	355,2
0,090	53,0	0,162	128,0	0,235	223,5	0,325	363,5
0,094	56,5	0,166	132,7	0,240	230,7	0,330	371,9
0,098	60,2	0,170	137,5	0,245	237,9	0,335	380,4

c) При малыхъ расходахъ можно заставить воду вытекать черезъ прямоугольныя отверстія, которыя употреблялись въ опытахъ Понсне. Эти отверстія имѣютъ ширину в=0,20 м. и края ихъ на всѣхъ 4 сторонахъ обдѣлываются въ видѣ острія. Тогда расходъ воды въ секунду вычисляется по формуламъ для истеченія воды чрезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ.

d) Расходъ воды въ большихъ ручьяхъ, каналахъ и рѣкахъ можно опредѣлить только посредствомъ скоростей, найденныхъ помощію гидрометровъ.

Измѣреніе паденія. Если склонъ земли пологъ т. е. если горизонтальное разстояніе между точками, которыхъ разность высотъ хотятъ опредѣлить слишкомъ велико сравнительно съ нею, тогда лучше всего употребить нивеллиръ съ зрительною трубою и уровнемъ. При этомъ слѣдуетъ употреблять способъ среднихъ стояній и визировать назадъ и напередъ. Выгоды представляемыя этимъ способомъ нивеллированія: a) даже и невывѣреннымъ инструментомъ можно получить совершенно точный результатъ если только есть и зрительная труба крѣпко установлена, d) преломленіе не можетъ при этомъ произвести погрѣшности, c) не требуется никакой поправки относительно разности между видимымъ и истиннымъ горизонтомъ d) при этомъ способѣ нивеллиръ приходится устанавливать вдвое меньше разъ нежели при другихъ.

5. b) Непосредственное измѣреніе скорости теченія воды. Даже при теченіи воды въ совершенно правильномъ и прямомъ каналѣ скорость теченія водяныхъ частицъ не постоянна. Прилипаніе воды ко дну и берегамъ представляетъ извѣстной величины сопротивленіе, въ слѣдствіе котораго скорость теченія на поверхности и въ ея срединѣ бываетъ наибольшая а отсюда ко дну и берегамъ уменьшается. Эта наибольшая скорость съ достаточною для практики точностію опредѣляется помощію слѣдующихъ приспособленій:

Въ рѣкѣ выбираютъ довольно длинный участокъ съ возможно постояннымъ паденіемъ и постояннымъ поперечнымъ сѣченіемъ.

a) Поплавки. Для поплавка берутъ продолговатое тѣло, которое, будучи погруженно въ воду, плаваетъ въ ней такъ, что одинъ конецъ остается на-виду. Для этого удобно взять небольшую бутылку b. извѣстной высоты наполненную пескомъ для того, чтобы она до горла погружалась въ воду. Если такой поплавокъ положить въ текущую воду, то онъ черезъ нѣсколько времени пріобрѣтаетъ скорость воды. Теперь остается только замѣчать (помощію секундныхъ часовъ) время t въ секундахъ, въ которое поплавокъ проходитъ извѣстное, заранѣе измѣренное пространство s. Путь въ секунду или скорость теченія будетъ $v = s : t$. Чтобы измѣреніе имѣло надлежащую точность, слѣдуетъ опытъ съ поплавкомъ повторить нѣсколько разъ и потомъ взять ариѳметическое среднее число. Употребляютъ также плавающія палки съ свинцовымъ грузомъ внизу; длина ихъ должна быть около 0,9 глубины рѣки.

Примѣръ. Поплавокъ проходитъ 200 м. въ 215 секундъ; то путь въ секунду, т. е. скорость воды=200: 215=0,930 м.

Наилучшими гидрометрическими приборами для измѣренія скорости воды признаны Вольтманова мельница и трубка Пито-Дарси Самымъ точнымъ приборомъ первая; профессоръ Тиме даетъ предпочтеніе трубкѣ Пито-Дарси, какъ прибору болѣе простому и менѣе подверженному разстройству, при измѣреніи въ тѣсныхъ пространствахъ и часто при довольно нечистой водѣ. Затѣмъ, самыя измѣренія трубкой Пито проще, нежели посредствомъ мельницы Вольтмана. Въ послѣднемъ случаѣ необходимо, кромѣ показанія прибора, наблюдать еще и время опыта, тогда какъ при трубкѣ Пито приходится отмѣчать только показаніе прибора. Во многихъ случаяхъ, при заводскихъ каналахъ, даже совершенно было бы невозможнымъ примѣнить мельницу Вольтмана; напр. когда русла представляютъ замкнутые чугунные ящики; въ которыхъ измѣреніе скорости возможно только просовываніемъ прибора, чрезъ щель, предназначенную для помѣщенія щита или когда толщина слоя воды въ руслахъ весьма ничтожна. Профессоръ Тиме примѣнялъ трубку Пито даже при морозахъ, достигавшихъ—10 и—18° Р., отогрѣвая приборъ послѣ каждыхъ двухъ, трехъ наблюденій.

b) Вольтманова мельница. Этотъ инструментъ имѣетъ 2—5 крыльевъ, которые насажены наклонно на горизонтальной оси. Эта ось соединена съ счетчикомъ. Если мельницу опустить на стержнѣ въ воду, такъ чтобы ось была по направленію теченія, то крылья вращаются. По числу оборотовъ можно найти скорость воды по слѣдующей формулѣ:

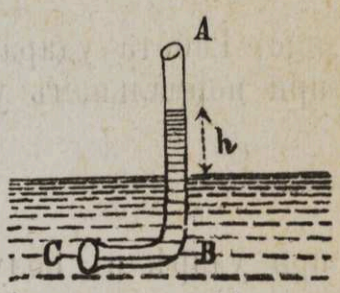
$$v=a+bu+cu^2+$$

въ которой v есть искомая скорость воды, u—число оборотовъ крыльевъ въ данное время; a, b, и c постоянныя величины, которыя должно опредѣлить изъ опыта для каждой мельницы.

c) Трубка Пито (фиг. 376). Она устанавливается въ водѣ такъ, чтобы одно колѣно $A\,B$ было вертикально, а другое горизонтально и было обращено противъ теченія. Вслѣдствіе этого вода поднимается въ вертикальномъ колѣнѣ на высоту h выше уровня воды, такъ что имѣетъ:

$$v=k\sqrt{2gh}$$

гдѣ k обозначаетъ постоянный коэффиціентъ, который нужно опредѣлить помощію опытовъ.



фиг. 376.

Чтобы получить надежный результатъ, необходимо произвести различныя измѣренія и изъ скоростей, опредѣленныхъ такимъ образомъ, взять ариѳметическое среднее число.

Въ настоящее время этотъ приборъ употребляется въ измѣненномъ видѣ, подъ названіемъ трубки Пито-Дарси, онъ снабжается (+) стеклянными трубками 11 мм. внутри, соединенными вверху и внизу съ 2 метал. коробками; верхняя коробка имѣетъ сверху крантъ для сообщенія или разобщенія верхнихъ концовъ трубокъ съ атмосферою. Въ нижней коробкѣ имѣется крантъ съ 2 отверстіями въ 4 мм., оси коихъ совпадаютъ съ осями трубокъ; снизу припаяны 2 изогнутыя латунныя трубочки съ отверстіями въ 3 мм. Обѣ стеклянныя трубки укрѣплены въ дерев. доскѣ (длиною 1,2 м.) и снабжены подвижными указателями. Доска насаживается подвижно на шестъ съ дѣленіями, позволяющій измѣрять углубленіе прибора въ водѣ; доска служитъ также для направленія латунныхъ трубочекъ отверстіями одной по теченію, другой противъ теченія. Если открыть нижній крантъ, то въ стоячей водѣ, вода въ обѣихъ трубкахъ будетъ на одномъ уровнѣ а въ текучей водѣ на разныхъ уровняхъ; если приборъ недостаточно погруженъ въ воду, то высасываніемъ (разрѣженіемъ) воздуха изъ верхней коробки помощію гуттаперчевой трубки можно приподнять оба водяныя столба на желаемую высоту въ стеклянныхъ трубкахъ, послѣ чего, верхній крантъ закрываютъ. Подержавъ нѣсколько времени, при закрытомъ верхнемъ крантѣ, приборъ въ водѣ, закрываютъ нижній крантъ вынимаютъ приборъ изъ воды и измѣряютъ разность h. горизонтовъ воды въ стеклянныхъ трубкахъ; тогда скорость воды $v=k\sqrt{2gh_0}$, гдѣ k нѣкоторый коэффиціентъ, зависящій отъ относительнаго расположенія отверстій латунныхъ трубочекъ. Предъ употребленіемъ слѣдуетъ сначала вывѣрить, тарировать приборъ, чтобы опредѣлить величину K. Это дѣлается: 1) измѣреніемъ скоростей даннымъ приборомъ, параллельно съ измѣреніемъ поплавкомъ; найденную поплавкомъ величину для k вставляютъ въ формулу и по показанію прибора h. въ томъ же мѣстѣ опредѣляютъ k. 2) Измѣреніемъ показанія h_0 въ искусственныхъ каналахъ, для коихъ расходъ и скорость воды извѣстны. 3) Движеніемъ прибора въ стоячей водѣ съ различною скоростію; приборъ дастъ показаніе h_0, а скорость получится дѣленіемъ пройденнаго пути на время. Обыкновенно $k<1$, среднимъ числомъ=0,85.

118. Ударъ воды. Обозначимъ чрезъ: P ударъ воды или гидравлическое давленіе струи воды на плоскость въ килогр. F поперечное сѣченіе струи въ кв. м.; v скорость водяной струи въ м. въ сек.; c скорость, съ которою двигается плоскость по направленію водяной струи въ м. въ сек.; Q количество воды, которое производитъ ударъ въ куб. м.; ($Q=(v-c)F$, если всегда ударяется одна и таже поверхность; напротивъ $Q=vF$, если, какъ въ водяныхъ колесахъ, подъ струю подходитъ непрерывный рядъ плоскостей); γ вѣсъ 1 куб. метра воды=1000 клгр.

а) Для удара нормальнаго къ плоской поверхности: $P=\frac{v-c}{g}Q\gamma$ и если плоскость въ покоѣ: $P=\frac{v^2}{g}F\gamma=2Fh\gamma$.

b) Для удара въ полую поверхность, измѣняющую направленіе струи въ противоположное: $P=2\frac{v-c}{g}Q\gamma$ и если поверхность неподвижна:

$$P=4\frac{v^2}{2g}F\gamma=4Fh\gamma.$$

c) Работа удара $L=cP$ будетъ наибольшая при $c=\frac{1}{2}v$ и тогда при нормальномъ ударѣ въ плоскость.

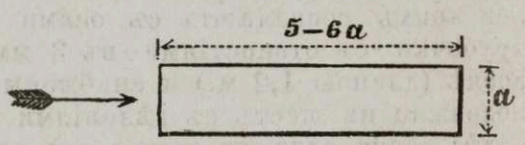
$$L=\frac{1}{2}\times\frac{v^2}{2g}Q\gamma=\frac{1}{2}Qh\gamma$$

при ударѣ въ полую поверхность, измѣняющую направленіе струи въ противоположное

$$L=\frac{v^2}{2g}Q\gamma=Qh\gamma.$$

119. Ударъ неограниченной массы воды. Обозначимъ чрезъ: F поперечное сѣченіе тѣла, подверженнаго дѣйствію воды, въ кв. м.; v относительная скорость воды и этого сѣченія въ м. въ сек.; P и γ тоже что въ 118; k коэффиціентъ зависящій отъ формы тѣла; то

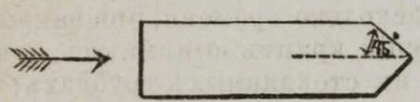
$$P=k\frac{v^2}{2g}F\gamma.$$

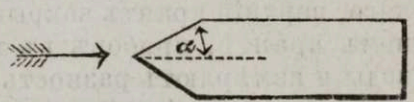


фиг. 377.

Для призматическаго тѣла, какъ на фиг. 377, $k=1{,}10$;

если оно заострено сзади, $k=1$ фиг. 378; если же на передней сторонѣ имѣется заостреніе, какъ, фиг. 379, то для заостренія


фиг. 377.



фиг. 379.

$\alpha=$	90^0	78^0	66^0	54^0	42^0	30^0	18	6
$k=$	1,10	1,05	0,93	0,76	0,60	0,48	0,46	0,41.

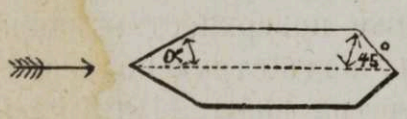
Сопротивленіе уменьшается еще болѣе, если заостреніе находится и на задней сторонѣ (фиг. 389).

для $\alpha=$	90^0	78	66	54	42	30	18	6
$k=$	1,00	0,94	0,82	0,65	0,49	0,37	0,35	0,33

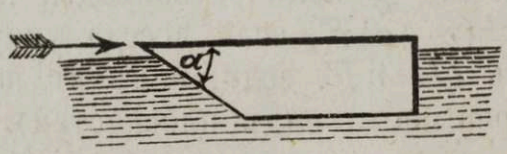
фиг. 21.

Если тѣло имѣетъ форму по фиг. 381, то величина коэффиціентовъ

для $\alpha=45^0$ $\quad k=0{,}55\ k_1$
$\alpha=25^0$ $\quad k=0{,}43\ k_1$



фиг. 380.



фиг. 381.

гдѣ k_1 обозначаетъ соотвѣтствующія вышеприведенныя величины k.

120. Водоснабженіе. А. Предварительныя изысканія. 1) Круговое движеніе воды. Падающая на землю метеорная вода просачивается черезъ верхніе слои земли до тѣхъ поръ, пока не встрѣтитъ водонепроницаемаго слоя; на немъ она продолжаетъ свое движеніе пока не выступитъ на поверхности въ видѣ ключа или же найдетъ себѣ свободное теченіе. Количество просачивающейся воды весьма значительно; въ видѣ подземной или грунтовой воды она течетъ подъ землею весьма медленно, такъ что при продолжительномъ дождѣ набирается такое количество воды, что ею могутъ долгое время питаться водные потоки. Грунтовая вода растворяетъ при просачиваніи сквозь слои земли разнообразнѣйшіе соли и минералы и вслѣдствіе этого никогда не бываетъ чистою; уже дождевая вода нечиста. Она содержитъ около 4% азота, кислорода, угольной кислоты и др.; поэтому преимущественно она и можетъ дѣйствовать на минералы, такъ что ни одинъ источникъ, никакая грунтовая вода и рѣка не свободны отъ минеральныхъ примѣсей. Этимъ обусловливается соленость моря и озеръ, которыя хотя имѣютъ постоянный притокъ, но не имѣютъ истока воды; ибо даже слабое содержаніе соли въ притекающихъ массахъ сладкой воды концентрируется, вслѣдствіе испаренія.

Составъ грунтовой воды подлежитъ разнообразнѣйшимъ измѣненіямъ смотря по составнымъ частямъ различныхъ слоевъ земли, черезъ которые она протекаетъ. Если вода проходитъ черезъ слои хряща или песку, то она большею частью бываетъ такъ чиста, что прямо можетъ идти въ употребленіе; она еще годна къ употребленію если подпочва содержитъ до извѣстной степени известь или мергель, ибо небольшое содержаніе извести не вредитъ водѣ. Если непроницаемый слой лежитъ вблизи поверхности земли, то вода должна проходить сквозь верхніе слои, пропитанные органическими веществами, такъ что въ этомъ случаѣ вода всегда бываетъ нечиста, ибо растворяетъ соли, содержащіяся въ почвѣ. Воду, назначенную для употребленія, слѣдовало бы всегда подвергать основательному химическому изслѣдованію по отношенію къ ея примѣсямъ.

Грунтовая вода городовъ въ рѣдкихъ случаяхъ годна къ употребленію продолжительное зараженіе (впродолженіе цѣлыхъ столѣтій) почвы въ старыхъ кварталахъ городовъ гніющими веществами всякаго рода, въ особенности же просачивающимся содержимымъ помойныхъ ямъ, обременили почву такимъ обиліемъ веществъ, сообщающихся грунтовой водѣ, что употребленіе такой воды въ большинствѣ случаевъ имѣетъ самыя вредныя послѣдствія на здоровье жителей.

Высота уровня грунтовой воды объусловливается не только количествомъ осадковъ, но главнымъ образомъ поднятіемъ и паденіемъ уровня воды въ рѣкахъ. Только въ послѣднее время открыли вредное вліяніе, которое оказываетъ измѣненіе уровня грунтовой воды въ зараженной почвѣ на здоровье жителей, ибо оно способствуетъ разложенію гніющихъ веществъ; поэтому то и нужно регулировать потоки воды, чтобы по возможности удержать уровень воды на одной высотѣ.

2) Расходъ воды. Расходъ воды для такихъ устройствъ, которыя доставляютъ воду только для питья, можетъ быть принятъ въ 25 литр.=2 ведра на человѣка въ сутки, причемъ остается еще

достаточное количество для домашнихъ потребностей. Если для другихъ надобностей кромѣ питья и варки пищи есть особый водопроводъ, то слѣдуетъ считать 120 до 130 литр. (9,75 до 10,57 вед.) на человѣка въ сутки; весьма промышленные города расходуютъ 200 до 250 литр. на одного жителя въ сутки.

Расходъ воды большаго города такой: 40 до 50% для хозяйства, 10 до 30% для промышленныхъ цѣлей, 20 до 25%—для поливки улицъ и промывки каналовъ, 10 до 15%—для фонтановъ и для тушенія пожаровъ. Расходъ воды въ литрахъ въ сутки принимается для человѣка въ 25, для лошади 75, для четырехъ колесной коляски 70, для ванны 300; для паровыхъ машинъ высокаго давленія на лошадиную силу въ часъ принимается 35, для конденсаціонной машины 800; для поливки 10 кв. м. улицы (одинъ разъ) 10, садовъ и плантацій 5000 въ годъ. Потребность воды для фабрикъ всегда можетъ быть разсчитана непосредственно; при проэктированіи приходится только имѣть въ виду извѣстное приращеніе.

Въ сѣверныхъ климатахъ средній суточный расходъ не превышаетъ 150 литровъ на жителя.

Варшавскій водопроводъ доставляетъ 6 куб. фут. воды на жителя въ сутки и можетъ доставлять $8^1/_2$ куб. фут. Эти цифры могутъ служить нормами при составленіи проэктовъ водоснабженія.

Вода въ городскомъ хозяйствѣ расходуется на фонтаны, общественные кранты для питья и водоразборные колодцы и на поливку улицъ. 1) Фонтаны расходуютъ на часъ: большіе 8800 до 10000, средніе 4500 и малые 1600 до 2500 куб. фут. воды. При напорѣ h метр. надъ бьющимъ отверстіемъ фонтана, вода поднимается на вертикальную высоту $h_0=h(1-0{,}010h)$ метр. 2) Пожарный крантъ расходуетъ въ минуту $7^1/_2$ до 12 куб. фут.; одновременно полагается въ дѣйствіи 10 крантовъ, расходующіе въ часъ до 6500 куб. фут.; располагаются черезъ каждые 60 до 80 саж. При проэктированіи сѣти на тушеніе пожаровъ особаго количества воды не считается, ибо лѣтомъ въ это время останавливаютъ фонтаны. 3) Количество воды, необходимой для поливки улицъ, бываетъ разное смотря по положенію улицъ и по климату и приблизительно равно $^2/_3$ ведра на кв. саж. въ сутки; поливными крантами служатъ пожарные. Для орошенія улицъ, заливанія пожаровъ и освѣженія воздуха водометная высота воды изъ крантовъ изъ фонтановъ должно быть около 7 до 9 саж.

Расходъ воды сильно колеблется въ отдѣльные мѣсяцы года. Онъ бываетъ больше или меньше средняго мѣсячнаго расхода въ процентахъ въ январѣ — 6,92, въ февралѣ—6,90, въ мартѣ—5,3; въ апрѣлѣ+1,4, въ маѣ+2,32; въ іюнѣ+7,91; въ іюлѣ+7,96; въ августѣ+5,91, въ сент.+5,29; въ окт.—3,15; въ нояб.—2,35; въ дек.—5,38. Особенно важны колебанія въ расходѣ воды въ различные часы въ сутки; онѣ составляютъ слѣдующіе проценты суточнаго расхода:

6 до 7 часовъ утра	3,74	12 до 1 ч. дня	5,99	6 до 7 ч. вечера	3,68
7 „ 8 „ „	5,21	1 „ 2 „ „	5,95	7 „ 8 „ „	5,01
8 „ 9 „ „	6,19	2 „ 3 „ „	6,39	8 „ 9 „ „	3,05
9 „ 10 „ „	6,44	3 „ 4 „ „	7,86	9 „ „ до 6 „ утра	14,15
10 „ 11 „ „	7,08	4 „ 5 „ „	5,21		
11 „ 12 „ „	7,76	5 „ 6 „ „	6,29		

Между тѣмъ какъ средній расходъ въ часъ составляетъ $4^1/_6$% суточнаго употребленія, этотъ расходъ за ночь понижается до $1^1/_2$% и днемъ поднимается до 8% въ часъ. Такъ что наибольшій расходъ въ $\frac{7.86}{4^1/_6} = 1.9$ раза или почти вдвое болѣе средняго расхода въ часъ. Для такого количества воды и слѣдуетъ разсчитать трубы и резервуа-

рамъ надо дать такіе размѣры, чтобы они могли вмѣстить наибольшее количество воды во всякое время дня.

3) Качество воды. По Кубелу хорошая пищевая вода должна удовлетворять слѣдующимъ требованіямъ: 1) Вода должна быть прозрачна, безцвѣтна и безъ запаха. 2) Температура воды въ различное время должна колебаться, въ различное время года только въ предѣлахъ нѣсколькихъ градусовъ (4—6°Ц.) 3) Вода должна осаждать только немного марганцовистаго калія и серебра и вовсе не должна содержать органическія вещества (микроскопическіе грибы и проч.). 4) Вода не должна содержать ни амміаку, ни азотноватой кислоты и только небольшое количество азотной кислоты. 5) Вода не должна содержать большія количества хлоридовъ и сульфатовъ, именно сѣрнистаго калія. 6) Вода не должна быть жесткая, а именно не содержать большія количества магнезіальныхъ солей. 7) Вода должна быть пріятна на вкусъ, т. е. она должна содержать растворенные, выдѣляющіеся при нагрѣваніи, газы, именно кислородъ и угольную кислоту.

Предѣльными величинами доброкачественной воды служатъ: 100000 частей воды не должны содержать болѣе того количества частей, которое обозначено въ нижеслѣдующей таблицѣ, данной разными авторами:

Фамилія авторовъ.	Твердый остатокъ.	Степень жесткости.	Азотная кислота.	Органическія вещества.	Хлоръ.	Сѣрная кислота.
Рейхардъ.	10 до 50	18	0,4	3 до 5	0,2 до 0,8	6,3
Кубель . .	50	18 до 20	0,5 до 1,5	3 до 4	2 до 3	8 до 10
Вибель . .	50	18 до 20	0,5 до 2,0	5,0	3,5	8 до 10

Воду слѣдуетъ считать абсолютно негодной для питья, если одна или двѣ изъ названныхъ величинъ превышены. Градусъ жесткости воды опредѣляется по содержанію щелочныхъ земель и если вода содержитъ n част. извести на 100000 ч. воды, то градусъ жесткости будетъ n. Если кромѣ извести въ водѣ содержится и другая еще щелочная земля, то каждое изъ этихъ веществъ слѣдуетъ опредѣлять анализомъ особенно. Теоретически градусъ жесткости опредѣлится, если перевести количество содержимой, кромѣ извести, щелочной земли въ эквивалентное количество извести и къ найденному количеству прибавить известь. Вода, жесткость которой не превосходитъ 20°, годна еще для всякаго рода промышленныхъ цѣлей, даже если для этого желательна возможно мягкая вода. Вода называется мягкою при жесткости въ 10°. Для питья вода можетъ имѣть до 25° жесткости.

Быстрая проба воды. Съ точки зрѣнія питанія и содержанія извести. Въ заткнутую стклянку отмѣриваютъ 40 куб. сантиметр. воды, прибавляютъ при помощи особой раздѣленной бюретки (дѣленія которой называются гидротиметрическими градусами) жидкость *A* до тѣхъ поръ, пока при взбалтываніи воды въ стклянкѣ получится легкая и неисчезающая пѣна. Жидкость *A* есть растворъ 50 граммовъ бѣлаго марсельскаго мыла въ 800 граммахъ спирта крѣпостью въ 90°; его фильтруютъ и приливаютъ 500 граммовъ дистиллированной воды. Бюретка такъ раздѣлена, что 23 дѣленія содержатъ 2,4 куб. сантиметра. 1 дѣленіе бюретки или 1 градусъ мыла соотвѣтствуетъ 0,00045 грамма хлористаго кальція въ 40 куб. сантиметр. испытуемой воды или 0,0114 грамма въ 1 литрѣ. Колодезныя воды оказываются иногда въ 100 градусовъ жесткости; обращаютъ мыло въ лепешки или сгущаютъ его. Ниже 30° воды считаются превосходными для питья, мытья, варки овощей, для паровыхъ котловъ. При 30 до 60° онѣ негодны для домашнихъ потребностей и едва могутъ служить для паровиковъ. Выше 60° онѣ негодны ни для какихъ надобностей.

1 французскій градусъ=0,56° нѣмецкаго=0,70° англійскаго.

Снѣговая вода	2,5°	Вода Гренельскаго артез. колодца	9°
Дождевая „	3,5°	„ въ Пасси „ „	11°
Гаронны „	5 0°	„ рѣки Сены въ Иври . . .	17
Луары „	5,5°	„ „ „ въ Шальо . . .	23

Присутствіе магніевыхъ солей въ водѣ кажется весьма опасно для паровыхъ котловъ.

4) Добываніе воды. Вода берется изъ источниковъ, изъ грунтовой воды и изъ рѣкъ.

Въ очень рѣдкихъ случаяхъ приходится все потребное количество воды брать изъ источниковъ, такъ какъ лежащіе близъ городовъ ключи рѣдко въ состояніи дать необходимую воду. Но весьма часто не останавливаются передъ расходами на длинный водопроводъ, чтобы только пользоваться преимуществами ключевой воды.

Обыкновенное мѣсто добыванія составляютъ открытые водные потоки, воду коихъ необходимо очистить фильтрованіемъ отъ мелкихъ разсѣянныхъ въ ней остатковъ животнаго и растительнаго происхожденія и отъ составныхъ частей отбросовъ городовъ и фабрикъ, находящихся въ верхнемъ теченіи рѣки. Примѣняемыя для этой цѣли приспособленія для фильтрованія лѣтомъ еще болѣе подвергаютъ теплую рѣчную воду дѣйствію солнца и воздуха, а зимою не возвышаютъ температуру воды, стоящей близко къ нулю. Эти недостатки, заставившіе сомнѣваться въ пользѣ подобныхъ дорогихъ устройствъ, въ новѣйшее время снова привели къ такъ наз. природному фильтрованію пользуясь хрящеватой и песчаной подпочвой какъ фильтромъ, для этого въ ней строились сборные каналы или укладывались трубы съ открытыми стыками или съ продырявленными стѣнками, въ которые и проникаетъ окружающая вода.

Выкачиваемая изъ сборныхъ трубъ вода замѣняется водой изъ рѣки или изъ водоносныхъ слоевъ. При хорошемъ цѣлесообразномъ устройствѣ, при достаточной ширинѣ и достаточно глубокомъ прокладываніи трубъ и хорошей проницаемости подпочвы такое природное фильтрованіе представляетъ чрезвычайныя выгоды. Вода, кромѣ требуемой прозрачности, весьма мало колеблется въ температурѣ, особенно въ томъ случаѣ, когда сборныя трубы не лежатъ непосредственно возлѣ рѣки и питаются почти исключительно грунтовой водой, текущей въ рѣку. Нѣкоторые города пользуются исключительно грунтовой водой, если она притекаетъ въ достаточномъ количествѣ.

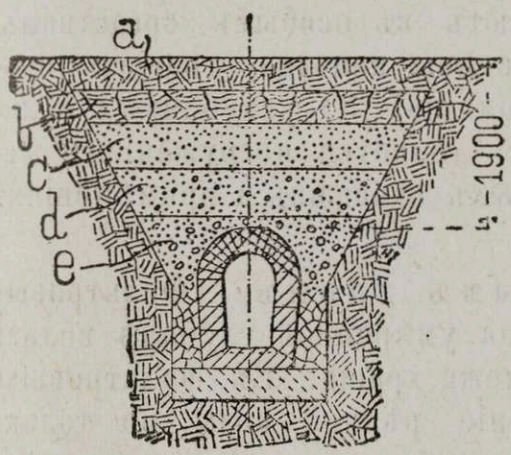
Подобныя устройства, которыя служатъ для добыванія природной фильтрованной рѣчной и грунтовой водъ, въ послѣднее время выполнены въ Германіи, напр. въ Эссенѣ, Галле на Заале, Саганѣ, Кельнѣ, Франкфуртѣ на Одерѣ и Дрезденѣ; исключительно же грунтовой водой пользуются слѣдующіе города: Алтенбургъ, Берлинъ, Данцигъ, Ганноверъ, Лейпцигъ, Плауенъ и др. Послѣднее устройство предпочитается всѣмъ другимъ системамъ, если не требуется значительныхъ количествъ воды.

В. Сборка и очистка воды. 1. Добываніе и собираніе воды. Устройства для добыванія и собиранія воды большею частью подземныя и дѣлятся на слѣдующія:

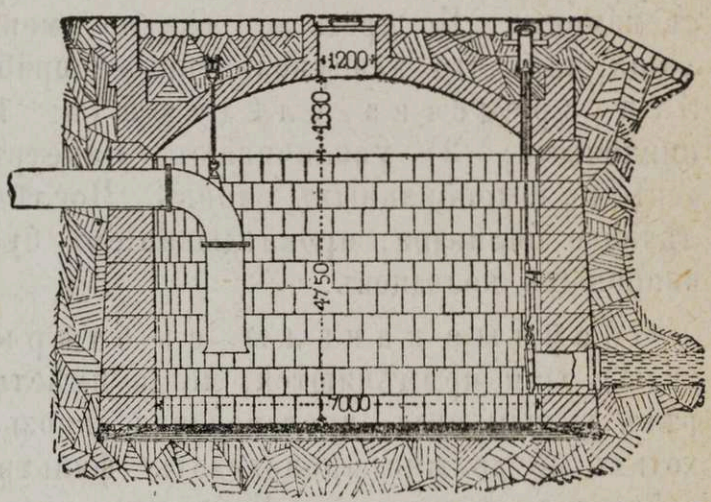
1) Дренажные каналы или траншеи съ закрытымъ дномъ; 2) Сборные колодцы; 3) Сборные каналы съ открытымъ дномъ (фильтраціонные ходы); 4) Сборныя трубы.

Изъ нихъ сборные каналы и колодцы употребляются съ незапамятныхъ временъ, фильтровые ходы съ начала этого столѣтія и сборныя трубы только въ новѣйшее время.

Дренажные и сборные каналы съ закрытымъ дномъ употребляются преимущественно для собиранія ключевой воды, рѣдко для собиранія грунтовой воды. Самое простое устройство просачивающаго канала то, что роютъ канаву съ правильнымъ въ ней дренажемъ, и покрываютъ его пропускающимъ и чистымъ матеріаломъ, т. е. гравіемъ, щебнемъ и т. п., верхніе же слои дѣлаютъ всегда изъ болѣе мелкаго матеріала, чтобы предохранить прониканіе воды.



фиг. 382.



фиг. 383.

Примѣръ сборнаго канала гор. Кенигсберга на каменной кладкѣ представляетъ фиг. 382. Онъ до высоты 1 м. выложенъ изъ кирпича на цементномъ растворѣ на бетонѣ; вода входитъ черезъ стыки шириною въ 20 мм., сообщающіяся между собою и находящіяся въ слояхъ 1, 3, 5 и 7. Каналъ мѣстами приходилось вести подъ водою и потому онъ состоитъ изъ слоевъ показанныхъ на фиг. *a*, *b*, *c*, *d*, *e*. Изъ нихъ *a* обозначаетъ черноземъ, *b* глину, *c* мелкій песокъ, *d* крупный песокъ, *e*—гравій.



фиг. 384.

Устройствомъ каналовъ значительно облегчается стокъ подземной воды, и при равныхъ условіяхъ каналы доставляютъ болѣе воды, чѣмъ источники въ ихъ естественномъ состояніи.

Сборные колодцы. Собираніе воды въ нихъ происходитъ такимъ образомъ, что изъ почвы, насыщенной грунтовой водой и въ которой стоитъ колодецъ, вода проникаетъ въ свободное его пространство, какъ скоро уровень воды въ колодцѣ понижается искусственнымъ образомъ. Колодцы большею частью бываютъ цилиндрическіе и тонкостѣнные

и дѣлаются изъ всѣхъ родовъ кладки, преимущественно же изъ кирпичной, при меньшихъ устройствахъ также изъ цемента.

Колодцы наружной стороной дѣлаются слегка на конусъ, чтобы облегчить опусканіе колодца при постройкѣ; для этой же цѣли колодцы сильно нагружаются желѣзнодорожными рельсами и т. п. Объ исполненіи см. опускные колодцы отдѣлъ «Водяныя сооруженія».

Фиг. 383 представляетъ разрѣзъ главнаго колодца дрезденскаго водоснабженія. На фигурѣ видно употребленіе сборныхъ трубъ, и всасывающую трубу отъ насоса. Вверху колодецъ ограниченъ сводомъ съ лазомъ по срединѣ. Въ колодцахъ, воздвигнутыхъ на мелкомъ пескѣ и подобномъ матеріалѣ, являются кромѣ трудности выполненія ихъ, также и трудность ухаживанія за ними, такъ какъ они весьма легко могутъ обременяться пескомъ. Во избѣжаніе этого на дно колодца насыпаютъ сперва мелкій песокъ, затѣмъ болѣе крупный, и наконецъ мелкій хрящъ съ камнями. Но чрезъ это сильно уменьшается производительность колодца, такъ что для увеличенія ее прибѣгаютъ къ особымъ средствамъ. Эти средства слѣдующія: 1) стѣны колодца дѣлаютъ проницаемыми; 2) увеличиваютъ діаметръ колодца; 3) углубляютъ колодецъ до водообильныхъ слоевъ. Послѣднее дѣлается погруженіемъ желѣзнаго цилиндра, прокладываніемъ буровыхъ скважинъ и примѣненіемъ копровыхъ колодцевъ.

Сборные каналы съ открытымъ днемъ. (Фильтровые ходы). Они примѣняются, когда имѣется на умѣренной глубинѣ вблизи рѣкъ годная вода, протекающая сквозь залежи хряща. Въ фильтровыхъ ходахъ не должно происходить фильтрованіе рѣчной воды, но только собираніе грунтовой. Подобные сборные каналы, примѣняемые очень часто въ новѣйшее время, имѣютъ большею частью устройство, показанное на фиг. 384 (оно выполнено для водоснабженія въ гор. Тулузѣ). Они помѣщаются въ слоѣ песку, сверху засыпаны пахатною землей, а снизу положенъ туфовый камень.

Сборныя трубы. Тѣже требованія, которыя ставятъ фильтровымъ ходамъ, т. е. хорошаго собирателя воды, болѣе дешевымъ образомъ исполняются сборными трубами. Эти трубы, вошедшія въ употребленіе только въ новѣйшее время, сперва готовились изъ глины, формованныхъ кирпичей или же кусковъ бетона. Въ послѣднее время примѣняются только асфальтированныя чугунныя трубы съ флянцами толщ. 1 ст. и діам. 10 ст., какъ видно на фиг. 724. Трубы окружаются покровомъ изъ мелкаго гравія толщиною въ 0.4 м.

2. Очистка воды. Вода, взятая изъ сборныхъ каналовъ, колодцевъ и проч., почти всегда обладаетъ требуемой для употребленія степенью чистоты. Другое дѣло вода, взятая изъ рѣки или пруда. Эту послѣднюю слѣдуетъ какимъ-нибудь простымъ способомъ, очистить прежде проведенія въ жилища или въ другія мѣста потребленія. Очистка производится отстаиваніемъ, просѣваніемъ или фильтрованіемъ.

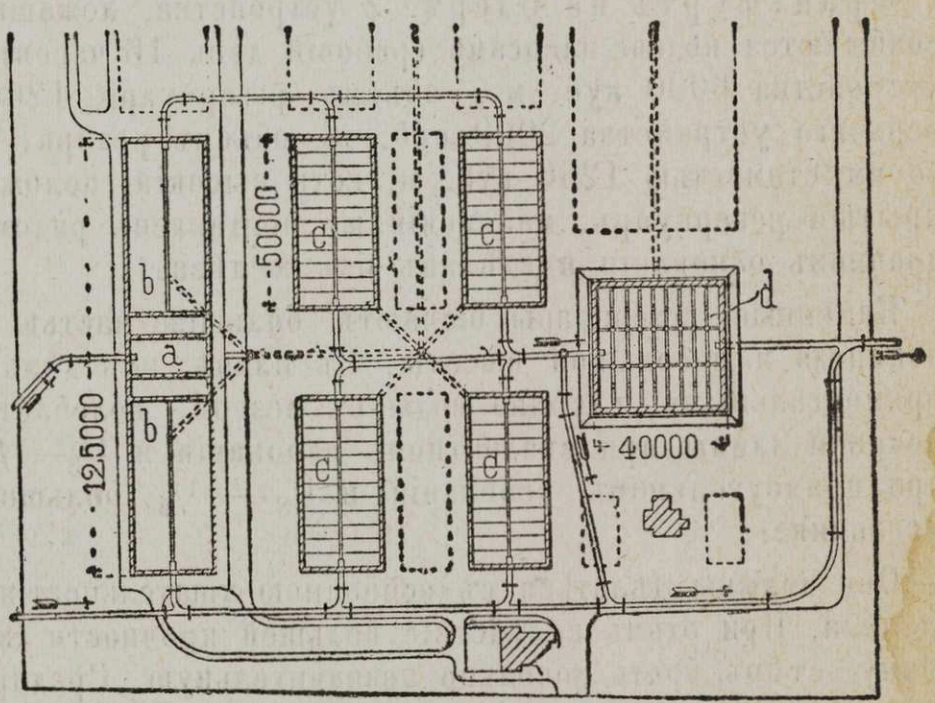
Очистка воды исключительно посредствомъ отстаиванія имѣетъ мѣсто въ рѣдкихъ только случаяхъ, большею частью соединяютъ осадочные (отстаивающіе) бассейны съ фильтрованіемъ. Вода сперва проводится въ одинъ изъ осадочныхъ бассейновъ, оттуда въ находящійся въ оса-

дочномъ бассейнѣ грубый фильтръ, затѣмъ въ нѣсколько фильтрирующихъ бассейновъ и въ находящійся въ домѣ резервуаръ для чистой воды, который почти всегда бываетъ крытый.

Обыкновенно фильтрирующіе бассейны сверху открыты и состоятъ изъ резервуара глубиною въ нѣсколько метровъ. Постель фильтра состоитъ изъ слоя мелкаго песку толщиною 0,5 до 1 м., подъ которымъ положены все болѣе и болѣе грубые слои, и на днѣ бассейна они переходятъ въ систему маленькихъ сборныхъ каналовъ. Слои, поддерживающіе постель фильтра для водоснабженія г. Алтона, состоятъ изъ 3 слоевъ хряща каждый толщиною въ 7 ст. крупности гороха, боба и орѣха, затѣмъ слоя хряща толщ. въ 14 ст. крупности съ грецкій орѣхъ, хряща толщ. въ 21 ст. крупности съ кулакъ и наконецъ слоя крупныхъ камней 29 ст., въ которыхъ образованы небольшіе сборные каналы. Высота воды надъ постелью фильтра колеблется въ разныхъ водоснабженіяхъ отъ 0,6 до 2 м.

Величина фильтра зависитъ отъ принимаемой скорости фильтрованія. Эта послѣдняя колеблется смотря по обстоятельствамъ между 1,7 до 15 м. въ сутки; для воды изъ Темзы она составляетъ 3,5 м., для воды изъ Эльбы близъ Гамбурга 1,7 до 1,8 м. Кромѣ опредѣленнаго этимъ числа бассейновъ (обыкновенно дѣлятъ поверхность фильтра по причинѣ меньшихъ расходовъ на нѣсколько бассейновъ) устраиваютъ всегда еще одинъ резервный бассейнъ. На 1 кв. м. площади фильтра процѣживается воды 2,8 до 3,5 куб. м. въ сутки.

Чер. 385 представляетъ планъ устройства фильтровъ при водоснабженіи г. Альтона. Вода изъ Эльбы протекаетъ непосредственно въ осадочные бассейны, сначала въ пространство *a*, оттуда проходитъ черезъ (грубые) рѣдкіе фильтры въ собственно осадочные бассейны *b*. Отсюда она течетъ въ фильтры и *c* въ резервуаръ для очищенной воды *d*, откуда она уже поднимается насосами. Трубы, какъ видно на чертежѣ, такъ приспособлены, что въ случаѣ остановки воды въ какомъ-нибудь мѣстѣ, насосы могутъ качать воду прямо или изъ рѣки или изъ осадочнаго бассейна, или изъ фильтровъ.



фиг. 385.

3) Накопленіе воды. Накопленіе воды производится въ водоемахъ, которые бываютъ вырытые, каменные и желѣзные. Выры-

тые резервуары всегда открытые, желѣзные перекрываются, а каменные бываютъ крытые и открытые.

Домовые водоемы служатъ для скопленія дождевой воды въ видѣ цистернъ для дождевой воды и тогда имѣютъ объемъ 3 до 4 куб. м., если же они назначены для промышленныхъ цѣлей, то имѣютъ объемъ, зависящій отъ спеціальнаго расхода воды фабрикой.

Главные резервуары, называемые также при полученіи воды изъ рѣки резервуарами для чистой воды, суть большею частью уравнительные водоемы. Они обыкновенно дѣлаются каменные, рѣдко изъ желѣза.

Объемъ ихъ легко опредѣляется по указаннымъ выше колебаніямъ въ расходѣ воды. Объемъ принимаютъ равнымъ около 25 до 32% средняго суточнаго расхода и затѣмъ еще нѣкоторое количество прибавляется для пожарныхъ цѣлей (1400 куб. м.).

Если питаніе резервуара производится машинами, то прежде опредѣленія величины резервуара слѣдуетъ рѣшить, гдѣ ставить насосы и будутъ ли они работать только днемъ. При нижеслѣдующихъ устройствахъ отношенія такія:

Дрезденъ. Насосы находятся въ дѣйствіи только днемъ. Объемъ главнаго резервуара около 2000 куб. м., т. е. $^2/_3$ суточнаго расхода, которое требуется по проэкту.

Изерлонъ. (Водоснабженіе ключевое). Объемъ главн. резер. 980 куб. м., т. е. $^1/_3$ суточнаго расхода 1854 куб. м., увеличеннаго на 350 куб. м. для пожаровъ.

Франкфуртъ на Одерѣ. 2 устройства, лежащія на разной высотѣ снабжаются водою насосами (рабочій день 16 часовъ). Расходъ нижняго устройства 6000 куб. м., объемъ резервуара 1200 куб. м.; расходъ верхняго устройства 2000 куб. м., объемъ резерв. 400 куб. м. Резерв. со вмѣстимостью 1200 куб. м. есть высокій, положенный на кладкѣ и крытый резервуаръ, маленькій же поставленъ рядомъ съ первымъ на прочномъ основаніи и сдѣланъ изъ желѣза.

Каменные резервуары бываютъ большею частью въ видѣ параллелепипеда и небольшой высоты. Въ планѣ ихъ дѣлаютъ квадратными и прямоугольными, глубина воды въ резерв. колеблется между $^1/_5$—$^1/_{10}$ боковой длины при квадратномъ основаніи и $^1/_5$—$^1/_8$ меньшей стороны при прямоугольномъ основаніи и $^1/_8$ — $^1/_{20}$ большой стороны прямоугольника.

Они должны дѣлаться съ особенною тщательностію изъ хорошаго матеріала. При этомъ вслѣдствіе большей прочности кладки можно толщину стѣнъ брать довольно незначительную. Средняя толщина стѣнъ, утоняющихся кверху, составляетъ при открытыхъ резерв. смотря по свойству дна 0,28—0,18 высоты. Крытые сводомъ резерв. можно вслѣдствіе дугообразной формы крыши дѣлать еще слабѣе. Стѣны свободно стоящихъ резервуаровъ, разсчитываются по давленію воды, которому онѣ подвержены; за допускаемую нагрузку можно принять 6 до 10 клгр. на кв. см.

Дно составляется изъ слоя бетона, толщиною въ 0,3 до 0,5 м. и выкладывается кирпичемъ плашмя.

Желѣзные, покоющіеся на основаніи водоемы дѣлаются или круглые или прямоугольные. Отношеніе полезной глубины къ діаметру колеблется въ нихъ отъ 1 : 1 до 1 : 5 и отношеніе полезной глубины къ высотѣ основанія колеблется отъ 1:5 до 1:22. При этомъ за высоту основанія принимаютъ разстояніе нижняго ребра резерв. до основанія фундамента. Раньше металлическіе резерв. большею частью строились изъ чугуна, теперь же все болѣе и болѣе примѣняютъ желѣзо. Изъ чугуна толщ. въ 10 до 12 мм. цѣлесообразно дѣлать небольшіе резерв. прямоугольнаго сѣченія, напр. для водокачекъ. Только въ рѣдкихъ случаяхъ чугунъ примѣняется для большихъ подобныхъ устройствъ.

Прямоугольные желѣзные резер. при (глубинѣ) высотѣ воды отъ 2 до 2,5 м. получаютъ толщ. стѣнокъ въ 5 до 6 мм., а толщ. дна отъ 7 до 8 мм.; имъ сообщается жесткость при помощи угловаго желѣза съ полками въ 60 до 80 мм., къ которому присоединяются тяжи размѣромъ въ 20 до 25 мм. Цилиндрическіе резервуары разсчитываются по извѣстнымъ правиламъ, причемъ нижніе листы дѣлаются толще верхнихъ. На верхнемъ концѣ имъ сообщается жесткость при помощи угловаго желѣза. Дно имѣетъ видъ отрѣзка шара и дѣлается толщ. въ 6 до 7 мм. или же немного толще. Въ срединѣ большихъ резервуаровъ слѣдуетъ оставить мѣсто для лѣстницы.

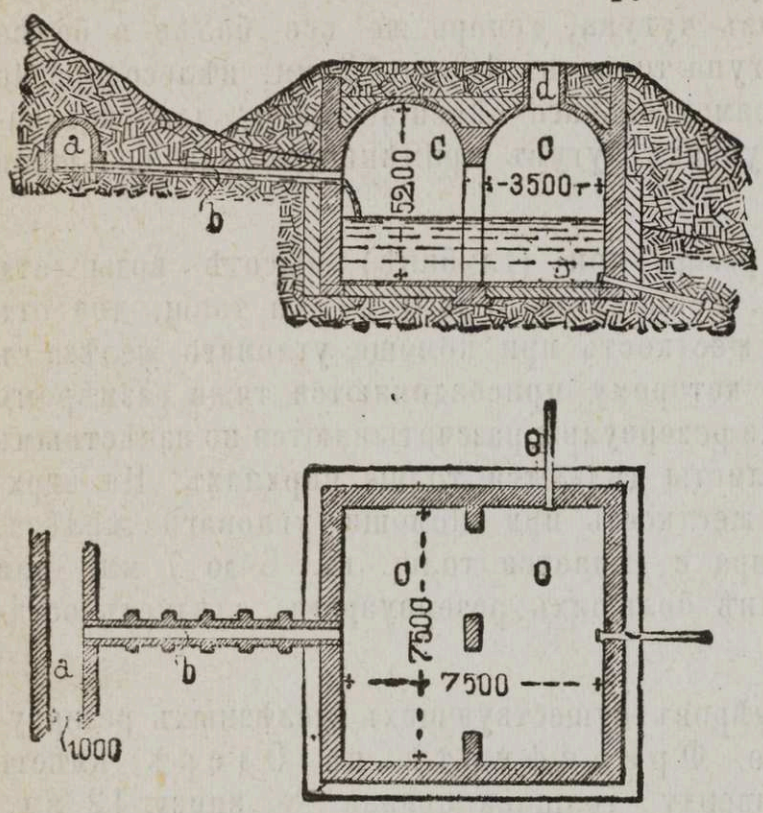
Приведемъ нѣсколько примѣровъ существующихъ желѣзныхъ резервуаровъ: Резервуаръ во Франкфуртѣ на Одерѣ имѣетъ вмѣстимость 400 куб. м., вверху толщина стѣнки 8 внизу 12 мм., такой же толщины (12 мм.) цилиндрическая лѣстница и дно. Резервуаръ въ Галлѣ на *S.* имѣетъ вмѣстимость 460 куб. м.. р- 10,3 м. высоту 4.7 м., толщ. стѣнокъ отъ 6.5 до 8.2 мм. , діам. цилиндра (лѣстницы) идутъ 2 винтовыя полосы сѣченія 20.1 Вокругъ щина цилиндра лѣстницы 13 мм., толщ. дна 10 мм. 0 мм. Тол-

Желѣзные резервуары необходимо отъ времени до свѣжею краской; ихъ слѣдуетъ ставить въ сухомъ времени покрывать дѣйствія сѣрныхъ и другихъ паровъ. Основаніе мѣстѣ и защищать отъ или желѣзное. можетъ быть каменное

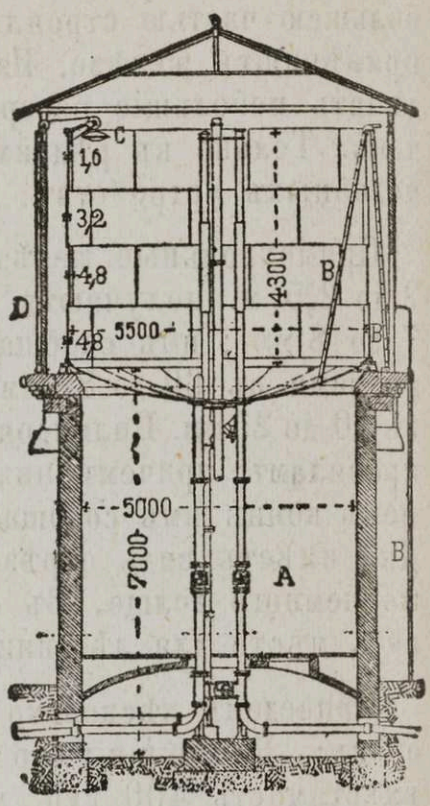
Резервуары необходимо снабжать такими приспособленіями (поплавками), чтобы состояніе воды было видно снаружи.

На фиг. 386 и 387 представлены горизонтальный и вертикальный разрѣзъ водонапорнаго водоема для провода ключевой воды маленькому городу или большой фабрикѣ. Водоемъ помѣщается на возвышенности въ непосредственной близости источниковъ надъ мѣстомъ, долженствующимъ быть снабженнымъ водой. Отъ источника *a* вода течетъ прямо къ водоему *e* черезъ каналъ *b*; отсюда она направляется по чугуннымъ трубамъ къ мѣсту расхода. Водоемъ построенъ изъ каменной кладки и для лучшей водонепроницаемости окруженъ слоемъ утрамбованной глины въ 30 ст., дно сдѣлано изъ слоя и покрыто кирпичемъ плашмя. Водоемъ перекрытъ сводомъ въ полкирпича и сверхъ онаго еще бетономъ. Въ сводѣ сдѣланъ лазъ *d*, для проникновенія въ бакъ; *e* отводная трубка, нужная для регулированія притока воды изъ источника. Все сооруженіе покрыто землей, чтобы защитить воду отъ измѣненій температуры.

На фиг. 388 представленъ желѣзный водонапорный водоемъ вмѣстимостью около 100 куб. м., примѣняемый для большихъ фабрикъ и желѣзныхъ дорогъ. Приготовленный изъ желѣза бассейнъ положенъ на (кирпичную) кладку и образуетъ подъ собою пространство *A* служащее для постановки пароваго насоса двойнаго дѣйствія. Къ бассейну доступъ для очистки возможенъ только снаружи помощью лѣстницъ *B*. Попла-



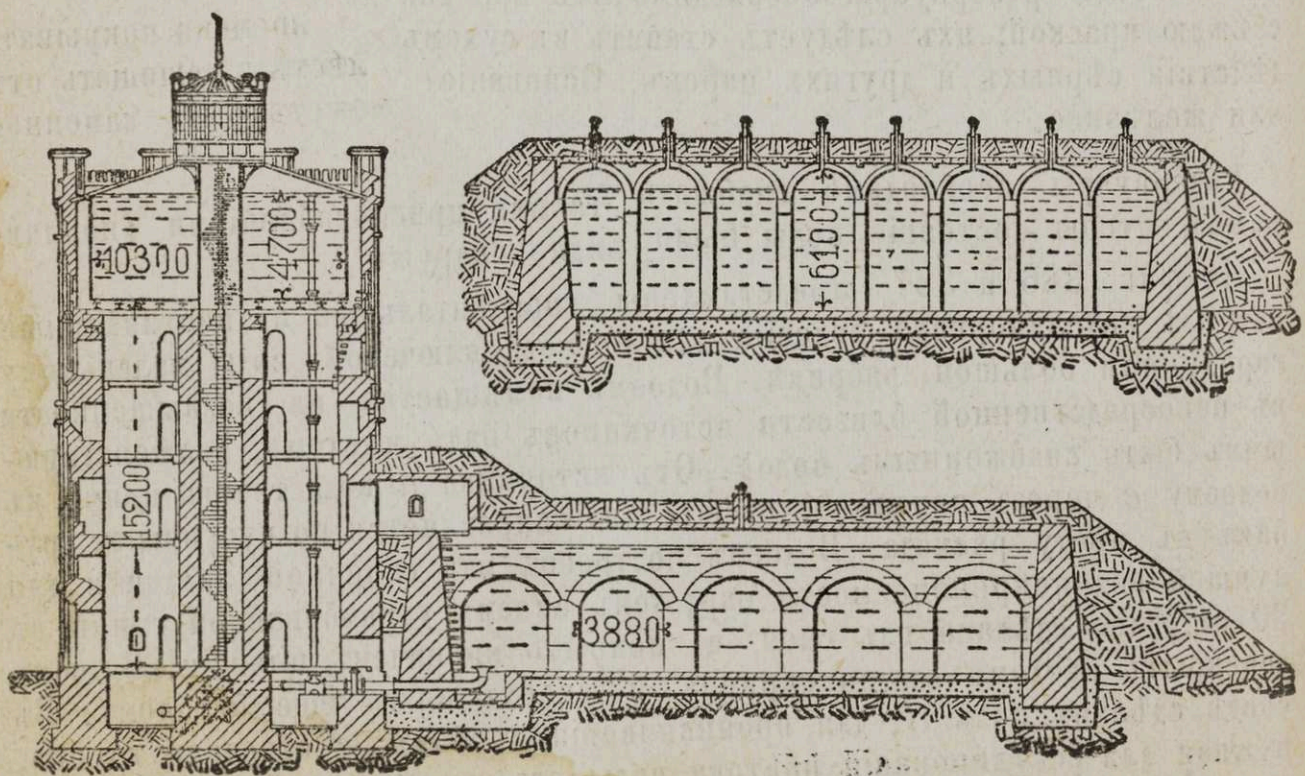
фиг. 386—387.



фиг. 388.

вокъ *C* показываетъ уровень воды на скалѣ *D*, помѣщенной снаружи. Видимыя на чер. трубы служатъ для привода, отвода и спуска лишней воды.

На фиг. 389—390 представленъ водонапорный водоемъ для



фиг. 389—390.

большого количества воды (водонапорный водоемъ для водоснабженія города Галле на Заалѣ). Онъ вслѣдствіе различныхъ высотъ снабжаемыхъ мѣстностей раздѣленъ на два водоема: меньшій желѣзный покоющійся на каменномъ фундаментѣ и большій построенный прямо на землѣ. Разница высотъ обѣихъ частей города 18,83 м., такъ какъ нижняя часть города составляетъ $^3/_4$ всего города, то при постройкѣ только одного бассейна пришлось бы поднимать $^3/_4$ доставляемаго количества воды на 18,83 м. выше требуемаго, вслѣдствіе чего получился бы напрасный расходъ топлива. Вмѣстимость нижняго водоема 3092 куб. м., верхняго 460 куб. м. Это небольшое количество воды выбрано такимъ малымъ, чтобы вслѣдствіе долгаго застаиванія не произошло бы слишкомъ замѣтное возвышеніе температуры. Нижній водоемъ положенъ на кладкѣ и снабженъ сводами, основаніе его сдѣлано изъ бетона покрытаго кирпичемъ плашмя. Весь нижній водоемъ, дно котораго лежитъ въ одной плоскости съ поверхностью земли, покрытъ землею. Верхній водоемъ, положенный въ великолѣпной башнѣ, конструированъ изъ желѣза. Къ водоему ведетъ винтовая лѣстница. Каждый бассейнъ можетъ быть наполненъ водою и опорожненъ независимо отъ другого.

Резервуары находятся въ 942 м. отъ города и 4582 м. отъ насосовъ, 32,48 м. надъ самымъ низкимъ уровнемъ рѣки Эльстеръ.

С. Проведеніе и раздача воды. Если источникъ добыванія воды лежитъ достаточно высоко надъ мѣстомъ потребленія, то вода съ нѣкоторымъ паденіемъ можетъ быть доставлена въ городъ; это можетъ совершаться въ каналахъ, крытыхъ и открытыхъ и водопроводныхъ трубахъ. Если воду приходится предварительно поднимать насосами, то могутъ быть употреблены только трубы. Часть водопровода отъ водокачки къ баку назыв. подъемнымъ или нагнетательнымъ проводомъ. Если вода доставляется въ городъ естественнымъ паденіемъ, то оно не должно превзойти предѣлы 1:250 до 1:10000.

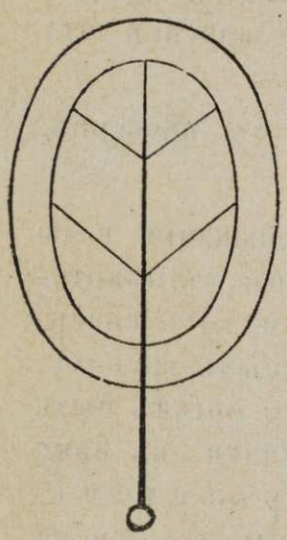
Если вода подается въ водоемъ при помощи водопровода, то укладка трубъ производится согласно съ уклономъ грунта; во избѣжаніе потери въ паденіи избѣгаютъ по возможности кривыя въ вертикальномъ и горизонтальномъ направленіи. Водопроводы въ самыхъ высшихъ точкахъ слѣдуетъ снабжать крантами для выпусканія воздуха (вантузами); а въ самыхъ низшихъ спускными крантами.

Отпусканіе воды потребителямъ производится по 3 различн. методамъ: 1) Отпускъ воды можетъ совершаться во всякое время и въ какомъ угодно количествѣ (система неограниченнаго отпусканія) 2) Вода протекаетъ въ мѣста расхода черезъ отверстія опредѣленнаго поперечнаго сѣченія (система непрерывнаго отпусканія) 3) Отпусканіе совершается каждый день только въ извѣстные часы и въ опредѣленныхъ количествахъ (посредствующая система).

Система неограниченнаго отпусканія самая лучшая, посредствующую слѣдуетъ во всякомъ случаѣ забраковать, въ извѣстныхъ случаяхъ можно примѣнить непрерывную систему. Для промышленнаго и общаго пользованія почти исключительно употребляется система неограниченнаго отпусканія.

Плата за пользованіе воды бываетъ весьма различная. Въ нѣкоторыхъ городахъ Германіи тарифъ устанавливается по числу жилыхъ помѣщеній или комнатъ, кухонь, магазиновъ и др., въ другихъ по площади этажей, по цѣнѣ квартиръ, по налогу на зданія, по семействамъ или по числу отдѣльныхъ лицъ, по пристройкамъ и наконецъ по показанному въ водомѣрѣ количеству пропущенной воды. Гдѣ нѣтъ водомѣровъ, тамъ кромѣ вышеназванныхъ тарифовъ существуетъ еще тарифъ на устройство ваннъ, на ватерклозеты и пр., на сады и дворы, на поливку улицъ, на фонтаны, на пожарные краны и др.

1) Расположеніе и расчетъ сѣти трубъ. Главная или магистральная труба идетъ отъ водокачки или водонапорнаго водоема въ направленіи центра тяжести расхода воды къ окружности раіона, снабжаемаго водой, и отсюда она развѣтвляется, начиная съ центра водоснабжаемаго раіона, по всѣмъ направленіямъ въ особенности къ отдѣльнымъ точкамъ расхода воды или же центральную точку водопровода помѣщаютъ на окружности водоснабжаемаго раіона (радіальная система). При развѣтвленной системѣ магистральная труба проводится діаметрально черезъ водоем. раіонъ при соотвѣтственной ширинѣ, а побочныя трубы и ихъ развѣтвленія расширяются въ обѣ стороны. Обѣ системы однако, т. е. радіальная и развѣтвленная, примѣняются весьма рѣдко, первая, какъ зависящая отъ прямоугольности пересѣкающихся улицъ, вторая по причинѣ многихъ неудобствъ, происходящихъ при неисправности водопровода. Всѣ эти недостатки привели къ употребленію (смѣшанной) циркуляціонной системы фиг. 391.



фиг. 391.

Всѣ второстепенныя вѣтви трубъ соединены при этой системѣ между собою, такъ что снабженіе каждой улицы водою можетъ быть произведено отдѣльно (употребл. заслонки, клапаны).

Діаметръ трубъ опредѣляется по формулѣ: $d=\sqrt{\frac{8}{\pi^2 g}\,\xi Q^2\,\frac{l}{h}}$, гдѣ ξ означ. коэф. сопротивленія (по Дюпюй $\xi=0{,}03025$), Q—расходъ воды, l—длина трубы, h—напоръ воды. Если разсчетъ начинаютъ отъ водоема, то опредѣленному разстоянію соотвѣтств. опредѣленъ расходъ и скорость: $d=\sqrt{\frac{4}{\pi}\cdot\frac{Q}{v}}$. Величина v уменьшается съ увеличеніемъ расхода Q, такъ какъ при длинныхъ водопроводахъ сопротивленія были бы слишкомъ велики, ибо высота сопротивленія $h=\xi\,\frac{v^2}{2g}\,\frac{l}{d}$.

Вводимый въ исчисленіе расходъ Q берется: Если труба постояннаго діаметра d расходуетъ только при концѣ своемъ объемъ Q' въ сек., то $Q=Q'$.

Если такая же труба, кромѣ расхода Q' на концѣ трубы, должна въ то же время расходовать равномѣрно на всей длинѣ объемъ P, то $Q=\sqrt{Q'^2+Q'P+\frac{1}{3}P^2}$ или приблиз. $Q=Q'+0{,}55P$.

Если на трубѣ d имѣется только одинъ равномѣрно распредѣленный расходъ P, то $Q'=0$ и $Q=\sqrt{1/3}P^2=0{,}577P$.

Если въ водопроводѣ съ перемѣннымъ діаметромъ существуетъ часть, хотя и небольшой длины, но съ значительно меньшимъ діаметромъ, чѣмъ остальная часть водовода, то въ расчетъ потери напора h и расхода Q вводится для d этотъ меньшій діаметръ.

Обыкновенно расходъ воды въ трубѣ дается числомъ ведеръ W въ извѣстное число n часовъ ея дѣйствія и тогда расходъ воды Q, вводимый въ исчисленіе трубы

$$Q=\frac{0{,}000003416\,W}{n}$$ куб. метр. въ сек.

1 куб. метръ въ сек. даетъ въ часъ 292316 ведеръ.

Примѣръ. Если труба, въ 15 час. времени, должна расходовать на концѣ своемъ 300000 ведръ, то ея расходъ въ секунду $Q=2{,}412$ куб. фут.; и если слѣдующій отрѣзокъ трубы расходуетъ на концѣ своемъ въ то же время 294566 ведеръ, то расходъ равномѣрно распредѣленный на длинѣ этого отрѣзка$=300000-294566=$ $=5434$ ведеръ или равноводный (расчетный)$=$

$$=\sqrt{294566^2+294566.5434+1/3.5434^2}=297290$$ ведеръ въ часъ

или $Q=0{,}000003416.297290=1{,}0155$ куб. фут.

Діаметръ трубъ не дѣлаетъ меньше предѣловъ 0,06 до 0,1 м. среднимъ числомъ 0.08 м.; для возможности надежнаго питанія гидрантовъ (пожарныхъ крантовъ). Скорость воды v въ трубахъ лежитъ между практическими предѣлами 0,5 до 1,4 м. и ср. ч. равна 1 м. Трубы исключительно дѣлаются изъ чугуна*). Толщина стѣнки при принятіи достаточнаго коэф. прочности δ - 0,7 цент. $+0{,}0125d$.

---

*) По опытамъ, сдѣланнымъ въ Америкѣ, для длинныхъ водопроводовъ очень рекомендуются склепанныя желѣзныя трубы. Въ первый разъ въ 1852 въ Калифорніи были употреблены желѣзные проводы изъ совсѣмъ тонкихъ листовъ ($1/16$"), приготовленныя холодною однородною клепкою; соединялись онѣ совершенно такъ же, какъ печныя трубы, простымъ втыканіямъ одна въ другую, направляя тонкій конецъ впередъ. Первый опытъ сверхъ всякаго ожиданія прошелъ хорошо и теперь въ упомянутомъ округѣ употребляются безчисленные проводы существенно такого же простого способа постройки, въ коихъ главные участки имѣютъ діаметръ 20 до 30". Строительная длина трубы 18 до 25'. Очень хорошая защита отъ ржавчины получается чрезъ погруженіе готовой трубы на нѣсколько минутъ въ кипящую смѣсь асфальта и дегтя. Если концы входятъ свободно одинъ въ другой, то на тонкій конецъ предварительно навивается просмоленный шнурокъ; неплотныя мѣста затыкаются клинушками изъ мягкой сосны; небольшія течи въ соединеніяхъ устраняются чрезъ насѣваніе опилокъ при впускѣ воды.—Послѣ того какъ эти проводы въ рудничныхъ округахъ оказались столь хороши, они были съ успѣхомъ примѣнены и для постоянныхъ водопроводовъ, включая сюда и городскіе. Между прочимъ Санъ-Франциско получаетъ воду помощію двухъ такихъ проводовъ и въ 1886 построилъ третій длиною много миль. Для постоянныхъ проводовъ большого діаметра концы трубъ соединяются еще заклепками; для узкихъ проводовъ съ высокимъ внутреннимъ давленіемъ употребляется заливаніе свинцомъ, для чего на стыкъ сначала надвигается желѣзное кольцо. Въ Англіи имѣется водоснабженіе Kimberlay съ 14 дюймовымъ проводомъ (при толщинѣ стѣнокъ $1/4$ дюйма) и длиною 30 километр. въ совершенно надежномъ дѣйствіи. На основаніи этого рекомендуетъ Рело обратить вниманіе на желѣзныя и стальныя трубы для общественныхъ водопроводовъ какъ на болѣе дешевыя, нежели чугунныя.

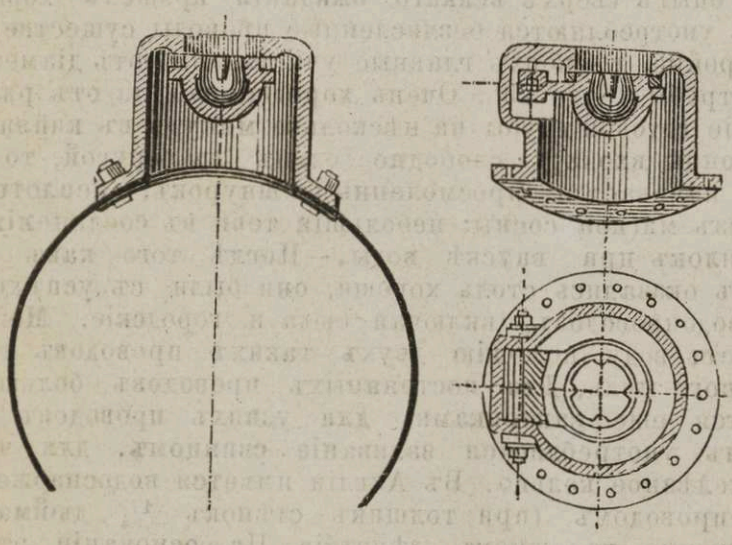
Въ новѣйшее время въ Америкѣ изготовляютъ (кромѣ указанныхъ на стр. 108. Части машинъ) трубы съ винтообразнымъ сварочнымъ швомъ и при томъ въ напускъ. (Sc. American 1888, Iuni). Трубы изъ мягкой стали выдѣлываются подобнымъ же образомъ какъ изъ желѣза или же онѣ такъ же, какъ трубы изъ литой

При водопроводныхъ трубахъ большею частью примѣняется соединеніе муфтами при помощи пакли и свинца, при большихъ напорахъ употребляется также соединеніе флянцами. Трубы передъ укладкой необходимо снабдить слоемъ, защищающимъ ихъ отъ окисленія. Для сей цѣли несильно нагрѣтыя трубы (150°—180°Ц.) погружаются въ кипящую асфальтовую массу, въ которой оставляются 10 до 20 мин., затѣмъ имъ въ вертикальномъ положеніи даютъ стекать, такъ что остается только тонкій слой и затѣмъ имъ даютъ высохнуть. Большія трубы окрашиваются. Трубы укладываются въ землѣ на глубинѣ 6 до 7 ф. (считая до наружной поверхности трубъ).

Всѣ приспособленія для запиранія должны б. такъ устроены, чтобы закрываніе произошло бы постепенно, вслѣдствіе чего онѣ большею частью имѣютъ винтовое движеніе. Фиг. 392—394 представляютъ весьма употребительное приспособленіе для запиранія т. наз. задвижной крантъ (онъ устроенъ при водоснабженіи въ Цюрихѣ). Коробка кранта составляетъ одно цѣлое съ привинченной крышкой, такъ что вода отнюдь не дѣйствуетъ на уплотненіе задвижки. Непроницаемость достигается металлическими кольцами; послѣднія укрѣплены въ коробкѣ, посредствомъ свинцовыхъ прокладокъ.

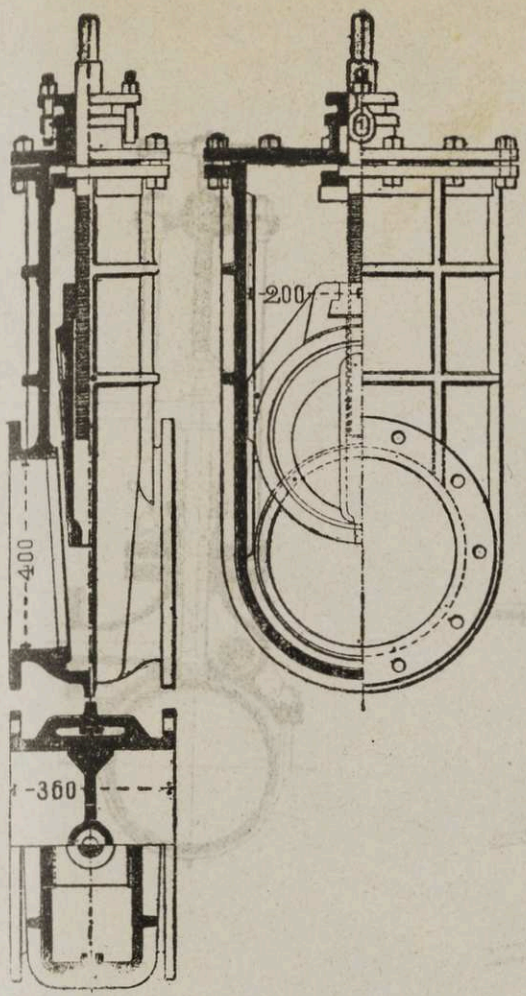
Для разбора воды во время пожаровъ, поливки улицъ и другихъ цѣлей ставятъ въ разстояніи 50—80—100 м. гидранты; они ставятся ниже уровня улицъ и въ такихъ мѣстахъ, гдѣ ими можно дѣйствовать, не мѣшая уличному движенію. Къ домамъ прибиваются на видномъ мѣстѣ

стали, мѣди, металла дельта и т. д. приготовляются по способу Маннесмана въ косыхъ вальцахъ изъ сплошной полосы (болванки) и тогда вполнѣ безъ шва. Винтообразно заварныя трубы должны выдерживать пробное напряженіе 20 до 28 киллогр.; (тогда какъ заварныя въ стикъ только 1 клгр., а въ напускъ 6 до 9 киллогр. трубы Маннесмана допускаютъ напряженіе почти до предѣла упругости, т. е. при литой стали или при Сименсъ-Мартеновской 24 до 40 клгр. и имѣютъ чрезъ это область примѣненія далеко превосходящую клепаныя проводныя трубы.

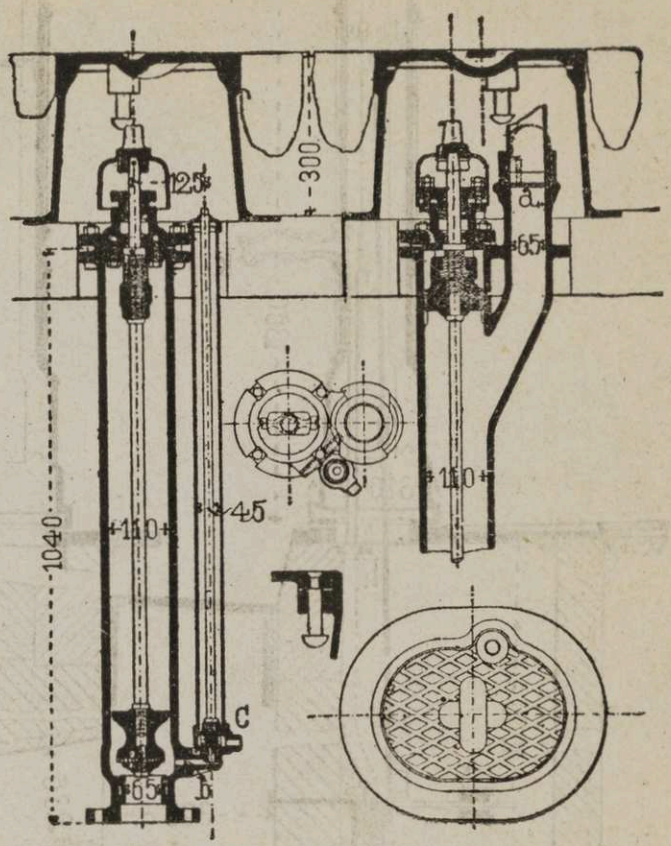


фиг. 391 a, b, c.

Техасскій водопроводъ | достигаетъ 32 куб. ф. или 0,9 куб. м. воды для вод. колесъ, имѣетъ длину 1353 м., діаметръ 432 мм. и состоитъ изъ трубъ длиною 20 фут. съ двурядною клепкою; толщина желѣза отъ № 14 (2,1 мм.) до № 8 (4,2 мм.). Трубы покрыты слоемъ хряща отъ 0,3 до 0,6 м толщиною, Такъ какъ большую часть года водопроводъ течетъ не полный и захватываетъ много воздуха, то для выпуска послѣдняго поставлены 14 воздушныхъ крантовъ (фиг 391 a, b, c); это суть тяжелые чугунные клапаны съ резиновымъ замыкающимъ кольцомъ. Если подъ клапаномъ находится воздухъ, то онъ открывается,—если подходитъ вода, то опять закрывается. Клапаны эти продупреждаютъ также раздавливаніе водопровода атмосфернымъ давленіемъ въ случаѣ поломки трубъ въ низкихъ мѣстахъ долины, пересѣкаемой водопроводомъ.



фиг. 392—394.



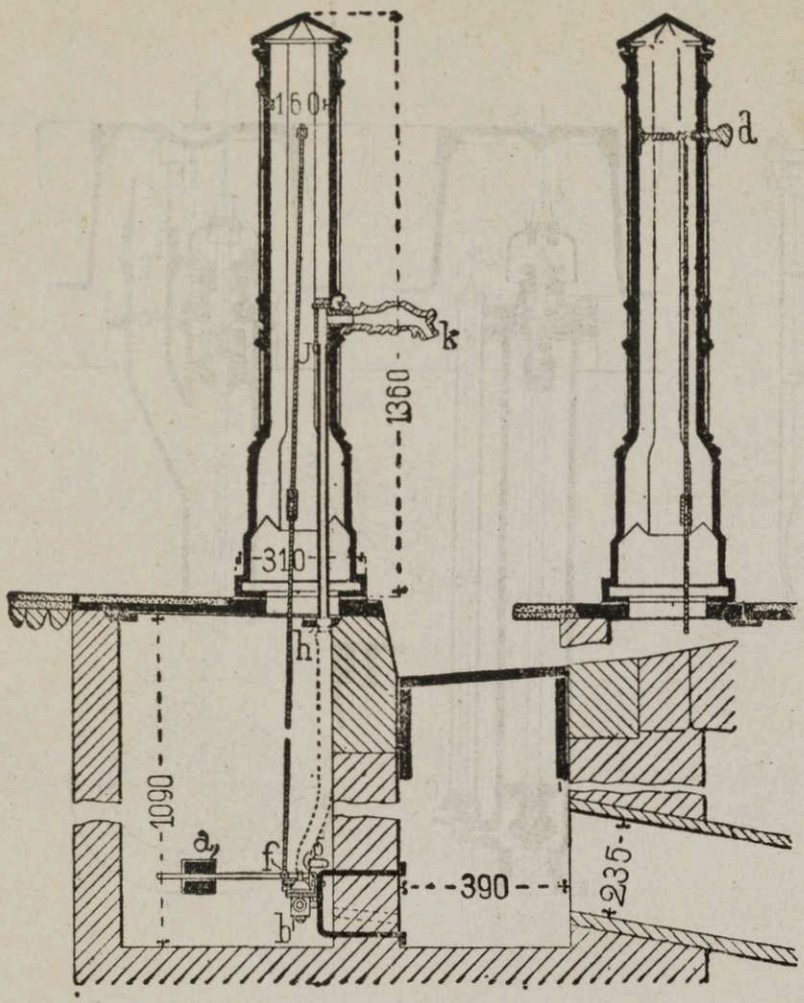
фиг. 395—399.

указатели, чтобы ихъ можно было скоро найдти. Фиг. 395—399 представь гидрантъ водоснабженія гор. Дрездена съ однимъ рукавомъ. Въ *a* крѣпко зажимается (стендеръ) стоячая трубка. Открытіе вентиля легко видимо на фиг. и не требуетъ дальнѣйшаго объясненія. Вентиль внизу одѣтъ кожей и легко вынимается. Сквозь боковое отверстіе *b* при открытіи *c* вытекаетъ по закрытіи вентиля вода набравшаяся въ гидрантной коробкѣ. Такимъ образомъ избѣгается опасность поврежденія трубъ черезъ замерзаніе воды.

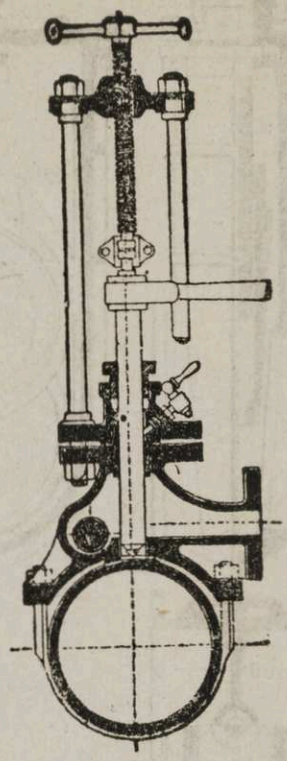
Для выпусканія воздуха, собирающагося въ наивысшихъ точкахъ провода, примѣняются самодѣйствующіе вентили (вантузы).

Въ городахъ, гдѣ не во всѣхъ домахъ проведена вода, необходимо устраивать публичные колодцы; они устроиваются въ такомъ видѣ, какъ показ. на фиг. 400 и 401. Конструкція и дѣйствіе колодца ясно видно изъ чертежей. Дѣйствіе механизма для сообщенія движенія вентилю состоитъ въ движеніи ручки *d* кверху (при большей высотѣ ручки надъ землей поднятіе вентиля происходитъ большею частью движеніемъ пуговки внизъ). Тогда помощью тяги поднимается рычагъ *fg*, а съ нимъ и вентиль *b*, такъ что вода вытекаетъ наружу черезъ трубы h, i и k. Какъ только ручка *d* отпущена, то, находящійся на продолженіи рычага *fg* противовѣсъ *a*, начинаетъ дѣйствовать и вентиль закрывается.

2. Домовые водопроводы. Домовые проводы только при большомъ расходѣ воды дѣлаются чугунные; обыкновенно же примѣняются свинцовыя трубы (иногда и оловянныя трубы со свинцовою оболочкою). Присоединеніе къ главному водопроводу происходитъ при помощи находящихся у него отростковъ (штуценовъ) или же для этого про-



фиг. 400—401.



фиг. 402.

сверливаютъ главныя водопр. трубы. При этомъ необходимо такъ вести сверленіе, чтобы не было потери воды; это дѣлается особымъ сверлильнымъ приборомъ, представленнымъ на фиг. 402. Предварительно его уплотняютъ на просверливаемое мѣсто 2 дисками (свинцовымъ и каучуковымъ), чтобы оно не пропускало воду. Затѣмъ пробуютъ насосомъ присоединяемую водопроводную вѣтвь, относительно ея непроницаемости, привинчивая наносъ къ флянцу, предназначенному для сверлильнаго приспособленія. Сверлильное приспособленіе покоится на флянцѣ, въ которомъ укрѣплены колонки для верхней поперечины. Сверло придавливается книзу винтомъ, уплотняется при помощи сальничка и приводится въ движеніе трещеткой B. При вынимании сверла необходимо предварительно выпустить воздухъ черезъ маленькій крантикъ; слѣдующая затѣмъ вода приподнимаетъ легкій деревянный шаръ, обтянутый резиной и дѣлаетъ отверстіе изъ подъ сверла непроницаемымъ, вслѣдствіе чего его легко закрыть доской.

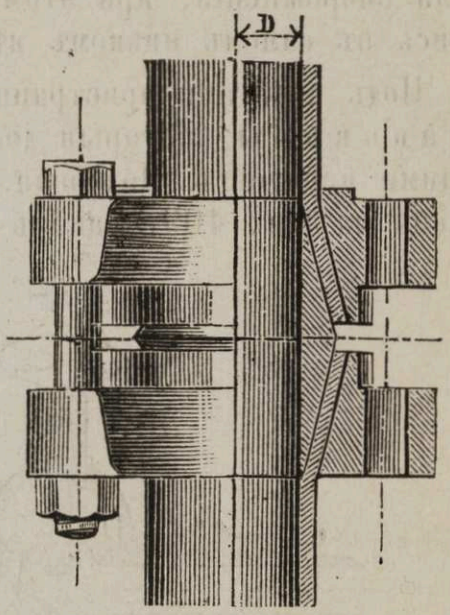
Фиг.. 403 и 404 представляютъ приборъ, служащій для той же цѣли. Имъ дѣйствуютъ слѣдующимъ образомъ: на просверливаемое мѣсто трубы между половинками AA_1 подъ A устанавливаютъ для непроницаемости кольцо a. Затѣмъ сверлильный приборъ, состоящій изъ сверла D, части C съ кожанымъ кольцомъ cc для непроницаемости укрѣпляется съ A. Сверло устанавливается винтомъ H. Когда стѣнка просверлена, то сверло вынимаютъ, кранъ b запираютъ, самый аппаратъ отвинчивается и приводящая частная труба м. б. припаяна. При устройствѣ, показанномъ на чертежѣ пристраивается къ главному водопроводу кранъ b.

Въ водопроводахъ съ большимъ давленіемъ (отъ 3 до 6 атм.) принимаютъ толщину стѣнокъ трубъ такую:

Діаметръ внутри въ миллиметрахъ	13	15	20	25	30
Свинцовыя трубы: вѣсъ погон. метра. въ клгр.	3	3,5	4,5	5,0	7,0
Оловян. съ свинцов. кожухомъ: вѣсъ погон. метра.	1,25	1,5	2,25	2,75	3,25

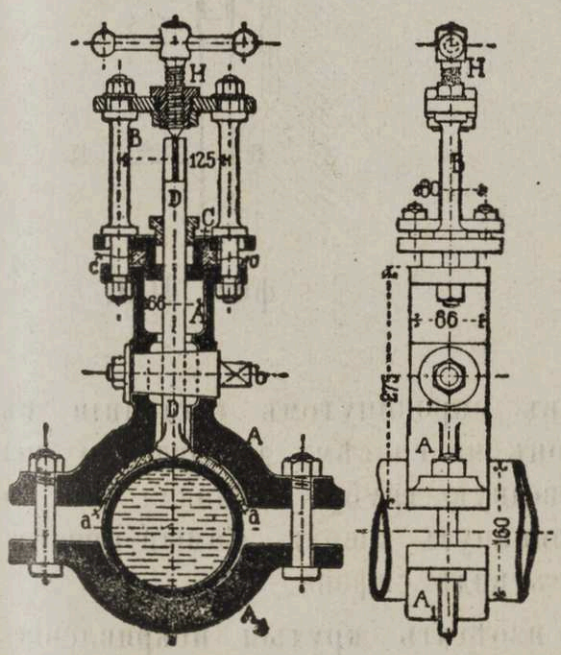
Подъемныя трубы въ зданіяхъ укрѣпляются помощію крючковъ въ разстояніи 1,5 до 1,7 мет., а горизонтальные проводы въ разстояніи только 0,6 мет. Свинцовыя трубы должны быть уложены возможно прямо, чтобы избѣгнуть воздушныхъ мѣшковъ.

Соединеніе свинцовыхъ трубъ производится спаиваніемъ ихъ; если приходится часто размыкать соединенія, то примѣняются соединеніе флянцами или винтовое. Фиг. 402 bis соединеніе свинцовыхъ трубъ флянцами на латунной двухъ-конусной оправкѣ.

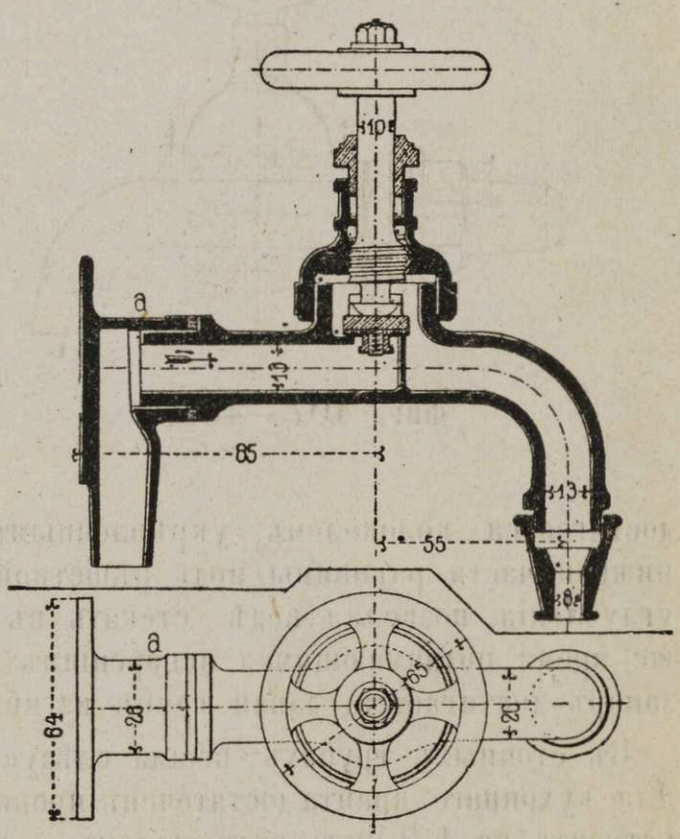


фиг. 402 bis.

Для разборки воды въ зданіяхъ служатъ домовые кранты, представленные на



фиг. 403—404.



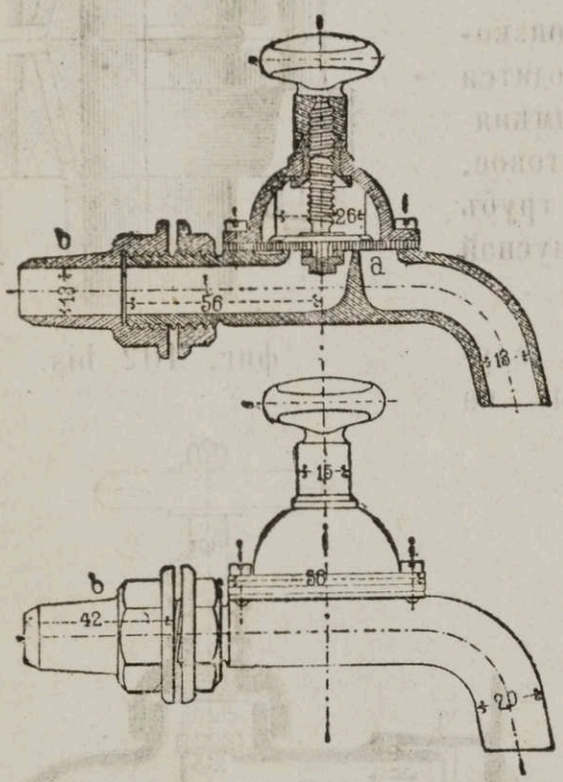
фиг. 405—406..

фиг. 405—406 и 407—408; крантъ 405—406 состоитъ изъ приводной трубки (обознач. стрѣлкой), которая закрывается кожанымъ кружкомъ; при поднятіи ручнаго маковичка, вода устремляется въ рядомъ лежащее отдѣленіе кранта и оттуда уже течетъ дальше. Крантъ укрѣпляется дискомъ *a* къ стѣнѣ и соединяется со свинцовой трубой. Въ крантѣ

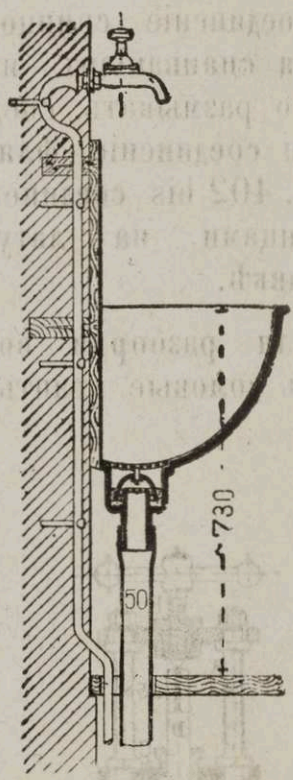
407—408 для непроницаемости служитъ резиновый кружокъ *a*; крантъ соединяется съ проводомъ при помощи промежуточной части *b* *).

Въ проводахъ зданій должны быть устроены **краны для опорожненія отъ воды**, чтобы защитить проводъ отъ замерзанія. Имѣющіеся въ погребахъ **главные краны** одновременно конструктируются для опорожненія, при этомъ необходимо имѣть въ виду, чтобы они пришлись въ самомъ низкомъ мѣстѣ провода въ зданіи.

Подъ крантами пристраиваютъ **сточныя трубы или спускныя раковины**, которыя должны быть снабжены запорами, не пропускающими испаренія. Подобная раковина изъ эмальированнаго чугуна представлена на фиг. 409. Запоръ для предупрежденія выхода запаха изъ трубъ



фиг. 407—408.



фиг. 409.

достигается колоколомъ, укрѣпленнымъ въ опрокинутомъ состояніи въ нижней части раковины подъ рѣшеткой; онъ не совсѣмъ доходитъ до дна углубленія, позволяя водѣ стекать въ отводную трубу, не давая въ то же время поднимающимся испареніямъ проникнуть вверхъ. Самый простой запоръ достигается, давая трубѣ изгибъ въ видѣ сифона.

Въ сточныхъ трубахъ всегда слѣдуетъ избѣгать крутыя искривленія. Для кухоннаго кранта достаточенъ проводъ въ 15 м. м. діам.; его слѣдуетъ устроить на 1,2 мет. надъ поломъ, а подъ нимъ ниже на 350—400 м. м. отливную руковину (фиг. 409) съ отводной трубой въ 50 м. м. діам. Вѣсъ погоннаго метра отводной (свинцовой) трубы діам. въ 50 м.м. равенъ 3.5 кило.

Отливныя раковины дѣлаются изъ глины, фарфора, эмальированнаго чугуна, а при хорошемъ устройствѣ изъ литого цинка. Для

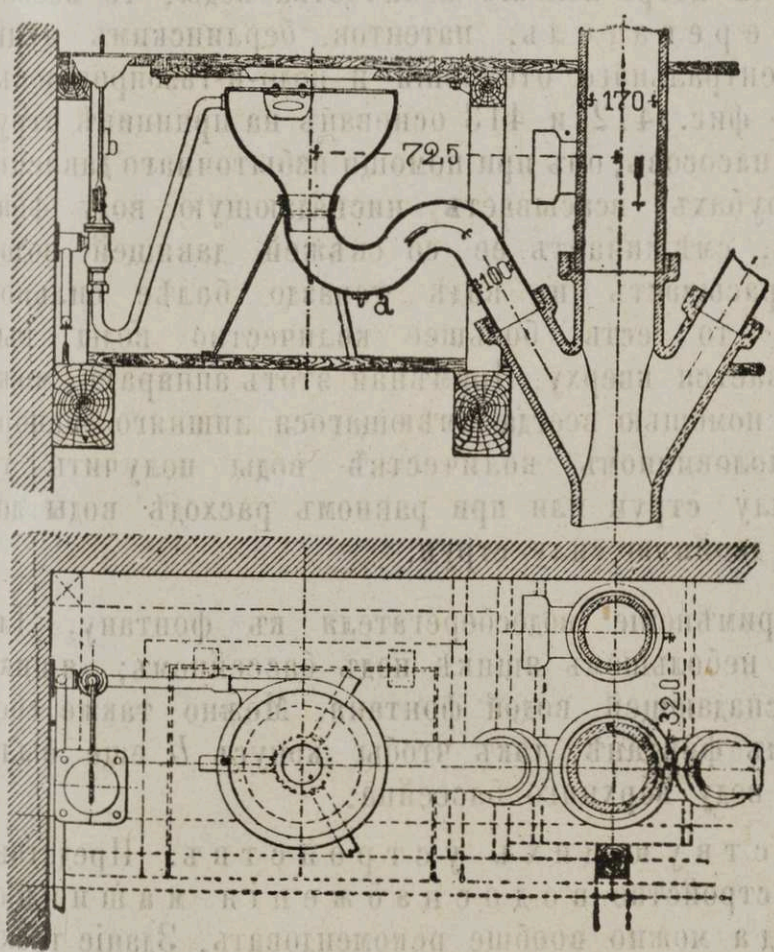
*) Подобные краны часто употребляются и въ паропроводахъ, но резиновый кружокъ замѣняется асбестовымъ (несгораемымъ) картономъ.

обыкновенныхъ цѣлей можно рекомендовать раковины изъ эмальированнаго чугуна. Умывальники всегда дѣлаются изъ фарфора (съ приводной трубой въ 15 м. м. и отводной въ 50 м. м.)

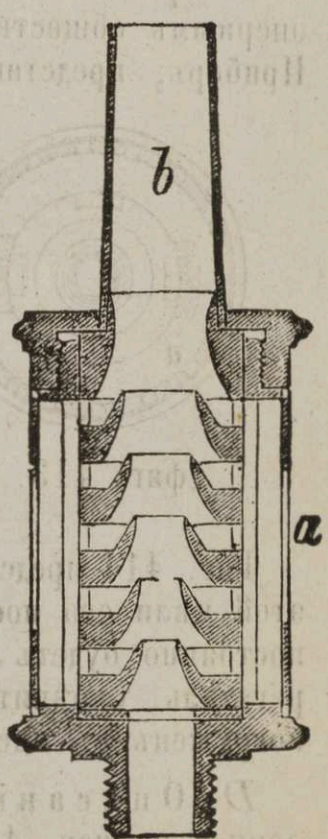
Діаметръ приводной трубы для ванной комнаты равенъ при большомъ напорѣ около 20 м. м. Ванны длиною по дну 1,5 до 1,7 (34 до 38 вед.), при нижней ширинѣ въ 0,4 м. и верхней 0,6 м. и отводной трубы въ 50 м. м. діаметра.

Устройство клозетовъ. Вода для промыванія приводится трубами діам. не менѣе 20 м. м. Отводная труба клозета не должна быть менѣе 100 м. м. діам., а поперечное сѣченіе главныхъ трубъ должно соотвѣтствовать площади приводныхъ трубъ. Фиг. 410 - 411 представляютъ планъ и разрѣзъ одной изъ употребительнѣйшихъ конструкцій. Отводныя трубы не прямо соединяются съ воронкообразнымъ тазомъ клозета; во избѣжаніе поднятія изъ отводн. трубы дурно пахнущихъ газовъ, вставлена труба, изогнутая въ видѣ буквы S; она постоянно наполнена водою, чѣмъ раздѣляетъ всегда спускную трубу и клозетъ, такъ что при хорошемъ устройствѣ въ ретирадѣ не должно быть сквернаго запаха. Эта промежуточная часть, снабженная отверстіемъ *a* для чистки всегда будетъ засариваться, коль скоро при пользованіи клозета не поднять ручку *b*, дабы открыть вентиль для спуска воды и отвести сквозь колѣно размельченные водою экскременты. Пусканіе воды должно совершаться не по окончаніи, а во время пользованія клозета.

При проводахъ съ значительнымъ давленіемъ слѣдуетъ избѣгать толчки въ нихъ и потому можно рекомендовать помѣщать на высотѣ отъ 2 до 5 м.



фиг. 410—411.



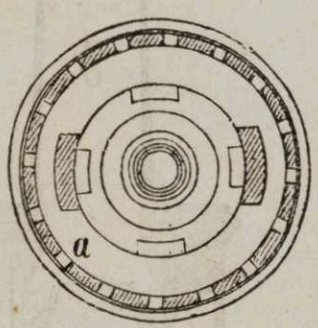
фиг. 412.

надъ клозетомъ небольшой резервуаръ, который соединяется съ проводомъ при помощи кранта, снабженнаго плавающимъ шаромъ.

Въ фабрикахъ и магазинахъ, въ которыхъ имѣются предметы опасные въ случаѣ пожара, всегда необходимо имѣть нѣсколько пожарныхъ крантовъ, діаметръ которыхъ, какъ и діам. провода не долженъ быть менѣе 50 м.м. Пожарные кранты для жилыхъ помѣщеній достаточно имѣть діам. въ 25 м.м. Рукава дѣлаются пеньковые діаметромъ 25 до 77 м.м. или резиновые. Пеньковые рукава держатся хорошо, если ихъ послѣ употребленія хорошо высушивать и затѣмъ сохранять въ сухомъ мѣстѣ; резиновые слѣдуетъ обвивать веревкой и сохранять въ прохладномъ мѣстѣ.

Для поливки садовъ достаточно имѣть кранты 25 м.м. діам. которые должны укрѣпляться къ вертикально поставлен. трубамъ. Трубка внизу замыкается крантомъ, который можетъ совершенно опорожнить ее во избѣжаніе замерзанія. Для поливки улицъ весьма удобны желѣзныя трубы, (длиною $2^1/_2$ до 3 арш. и діаметромъ $1^1/_2$ д.) соединенныя короткими резиновыми или кожаными рукавами и поставленныя на легко поворачивающіяся колесики.

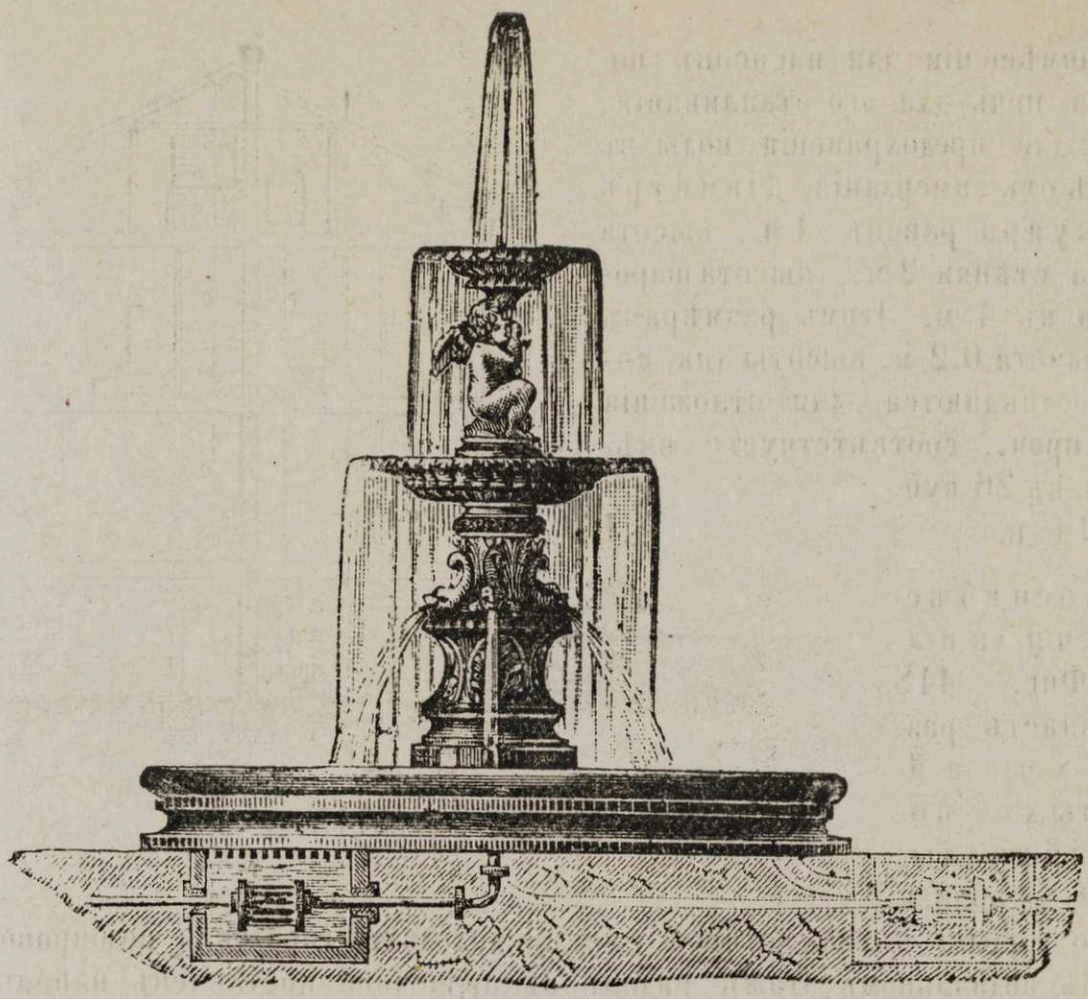
Небольшіе садовые фонтаны требуютъ также трубы въ 25 м.м.; глубина воды въ бассейнѣ не болѣе 200 м.м. Фундаментъ бассейна слѣдуетъ класть на 1 м. ниже поверхности сада для защиты отъ морозовъ. Отводная труба должна имѣть діаметръ не меньше 50 м. м. Такъ какъ имѣющееся въ водопроводахъ давленіе воды для высоты бьющей струи фонтанъ большею частью не вполнѣ эксплоатируется и содержаніе фонтана увеличивается съ увеличеніемъ потребленнаго количества воды, то весьма часто примѣняютъ водосберегатель, патентов. берлинскимъ акціонернымъ обществомъ для центральнаго отопленія и водо-и-газопроводовъ. Приборъ, представленный на фиг. 412 и 413 основанъ на принципѣ струевыхъ насосовъ; онъ при помощи избыточнаго давленія въ трубахъ всасываетъ ниспадающую воду фонтановъ, смѣшиваетъ ее со свѣжей давящей водой и выбрасываетъ въ видѣ гораздо болѣе сильной струи, то есть большее количество воды выбрасывается кверху. Примѣняя этотъ аппаратъ, можно съ помощью всегда имѣющагося лишняго напора при половинномъ количествѣ воды получить ту же силу струи или при равномъ расходѣ воды достичь двойную силу струи.



фиг. 413.

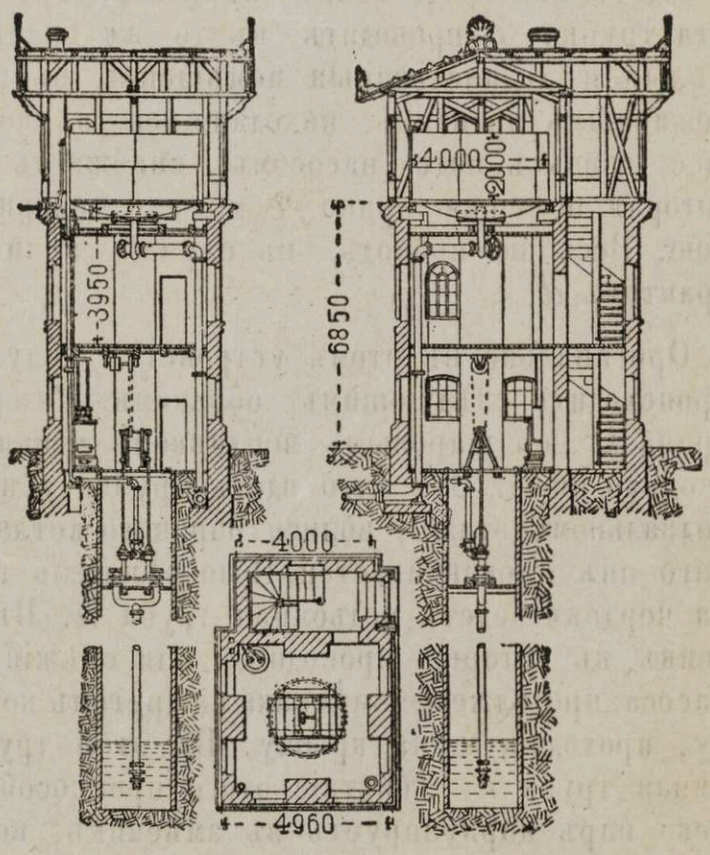
Фиг. 414 представляетъ примѣненіе водосберегателя къ фонтану. Для этой цѣли его поставили въ небольшомъ ящикѣ подъ бассейномъ; ящикъ постоянно будетъ полонъ ниспадающей водой фонтана. Можно также сберегатель укрѣпить въ самомъ фонтанѣ, такъ чтобы конусъ *b* еще былъ погруженъ въ ниспадающую воду верхняго бассейна.

D. Описаніе существующихъ устройствъ. Представленное на чер. 415—417 устройство водоснабженія машиностроительнаго завода можно вообще рекомендовать. Зданіе трехъ этажное, нижніе 2 этажа массивные, верхній фахверковый. Въ первомъ этажѣ расположены насосы, во второмъ этажѣ имѣется комната для различныхъ



фиг. 414.

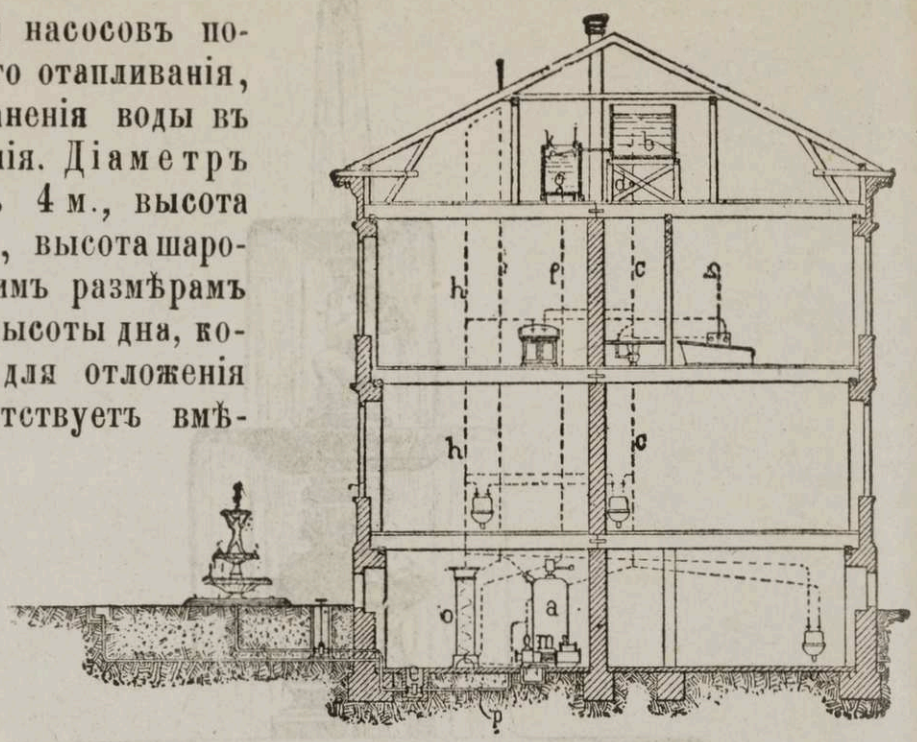
цѣлей и въ третьемъ помѣщается водяной резервуаръ. Всѣ помѣщенія сдѣланы доступными устройствомъ особой клѣтки для лѣстницы. Для поднятія воды служатъ 2 насоса простого дѣйствія всасывающій и нагнетательный, соединяющіеся между собою. Насосы поставлены въ колодцѣ подъ домомъ, такъ какъ иначе высота всасыванія получилась большая бы слишкомъ.



фиг. 415—417.

Резервуаръ сдѣланный изъ листового желѣза, имѣетъ цилиндрическія стѣнки, толщиною въ 5 мм. и шаровидное дно, толщ. 7 мм. Бакъ поддерживается выдающимися внутрь зданія выступами, на верхушкѣ которыхъ положены по 2 камня изъ гранита, на которыхъ въ свою очередь поставлены чугунныхъ 8 стульевъ поддерживающихъ бакъ. Чугунный водопроводъ діам. въ 15,7 цент. служитъ для отведенія воды въ отдѣльныя помѣщенія завода.

Въ помѣщеніи для насосовъ поставлена печь для его отапливанія, а также для предохраненія воды въ бассейнѣ отъ замерзанія. Діаметръ резервуара равенъ 4 м., высота цилиндра стѣнки 2 м., высота шарового дна въ 4 м. Этимъ размѣрамъ послѣ вычета 0.2 м. высоты дна, которые оставляются для отложенія ила и проч., соотвѣтствуетъ вмѣстимость въ 26 куб. м.=2114 в.

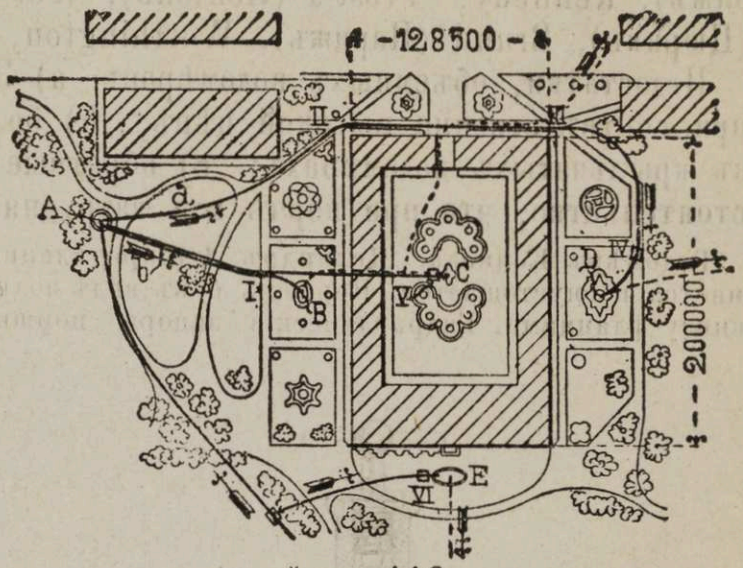


фиг. 418.

Водоснабженіе дачи (виллы). Фиг. 418 представляетъ разрѣзъ хозяйственныхъ помѣщеній виллы, лежащей вблизи большаго города, но къ которой уже не доходитъ городская водопроводная сѣть. Въ подвальномъ этажѣ рядомъ съ прачечной поставленъ небольшой паровой котелъ a, питающій находящійся вблизи него насосъ m двойного дѣйствія. Насосъ всасываетъ воду изъ близъ лежащаго колодца и трубка c ведетъ непосредственно къ резервуару b, находящемуся на чердакѣ. Эта трубка c проводитъ въ то же время холодную воду въ различныя жилыя и хозяйственныя помѣщенія, въ ванную комнату, клозетъ и къ пожарнымъ крантамъ, находящимся въ корридорахъ. Отвѣтвленіе, лежащее сейчасъ надъ насосомъ, снабжаетъ садъ водой черезъ трубу p, которая помощью крана e можетъ совершенно запираться, особенно зимою. Весь водопроводъ, въ случаѣ починки можно запереть главнымъ крантомъ d.

Оригинально въ этомъ устройствѣ полученіе теплой воды, которое происходитъ слѣдующимъ образомъ. Резервуаръ b питаетъ при помощи крана ik съ шаровымъ поплавкомъ меньшій бакъ g, расположенный нѣсколько ниже. Отъ него идетъ трубка f въ подогрѣватель o, стоящій (въ подвальномъ этажѣ) вблизи парового котла и насоса, въ нижнемъ днѣ котораго онъ и оканчивается. Подогрѣватель весь наполненъ водой и изъ него на чердакъ ведетъ подъемная труба h. Въ подогрѣвателѣ находится змѣевикъ, въ который проводится или свѣжій паръ или отработавшій паръ изъ насоса; продолженіе змѣевика на другомъ концѣ образуетъ (выводящую) трубку, проходящую на крышу. Въ этой трубкѣ вверху оканчивается подъемная труба h. Дѣйствіе этого приспособленія состоитъ въ слѣдующемъ: пока паръ циркулируетъ въ змѣевикѣ, вода (стоящая въ трубкѣ h на одномъ уровнѣ съ бакомъ g) въ подогрѣвателѣ нагрѣвается и нагрѣтыя частицы поднимаются по трубѣ h (какъ при отопленіи теплой водой). При этомъ во всѣхъ (съ h соединяющихся) боковыхъ трубкахъ можно получить теплую воду, соотвѣтственно вмѣстимости подогрѣвателя даже и долгое время послѣ того, какъ паръ пересталъ циркулировать въ змѣе-

викѣ. По мѣрѣ того какъ отъ провода h отнимается теплая вода, холодная течетъ изъ бака g внизъ, гдѣ она подогрѣвается. Уровень воды въ g постоянно удерживается на опредѣленной высотѣ какъ уже упомянуто при помощи кранта b съ шаровымъ поплавкомъ. Конденсаціонная вода, получающаяся въ змѣевикѣ и въ выводной трубѣ, проводится въ небольшой резервуаръ, въ которомъ поставленъ питающій котелъ насосъ.



фиг. 419.

На фиг. 419 представлено водоснабженіе въ з а м к ѣ Коссель въ Богеміи. Вода при помощи насоса, приводимаго въ дѣйствіе отъ водянаго колеса, нагнетается въ сборный бассейнъ A. Отсюда она съ естественнымъ напоромъ проводится трубами a и b въ фонтаны B, C, D; отъ провода къ резервуару A идетъ вѣтвь въ бассейнъ E, помѣщающійся на террассѣ замка. Вода, стекающая изъ подъ фонтановъ и бассейна E отчасти проводится въ конюшни, отчасти въ резервный садъ и оранжерею. Резервуаръ представляетъ водопапорный каменный водоемъ на бетонномъ основаніи; на такомъ же основаніи положены фонтаны и бассейнъ. Соединеніе трубъ происходитъ при помощи чугунныхъ муфтъ, непроницаемость ихъ достигается отчасти свинцомъ, а отчасти паклей, дегтемъ и колофоніемъ. Въ отдѣльныхъ точкахъ (I, II, III, IV, V и VI) сдѣланы приспособленія для устройства пожарныхъ крантовъ, и для поливки сада помощью рукавовъ.

3. В о д о м ѣ р ы. Требованія, предъявляемыя хорошо функціонирующему водомѣру *), раздѣляются на двѣ группы. Къ первой группѣ относятся тѣ свойства, которыя констатируются при испытаніи системы: a) Точность измѣренія до извѣстныхъ границъ: 2—5% измѣряемаго количества. b) Чувствительность измѣренія, т. е. равномѣрность его при измѣненіи давленія. Водоизмѣритель долженъ точно показывать одинаково малыя количества воды (100 метр. въ часъ) и большія (напр. 6 куб. метр. въ часъ. c) Свойства не касающіяся принципа внутренней конструкціи прибора непосредственно. Сюда относится: незначительный вѣсъ и величина, легкость соединеній при постановкѣ и выбрасываніи и наконецъ умѣренная цѣна. Ко второй группѣ требованій относятся слѣдующія, тѣ, которыя дѣлаются замѣтными въ практическомъ примѣненіи. d) Продолжительность постоянства первоначальной точности. e) Прочность водомѣра вообще. f) Стоимость содержанія.

По способу измѣренія различаютъ двѣ группы водомѣровъ: 1) Водомѣры поршневые (объемные). 2) Водомѣры крыльчатые (скоростные).

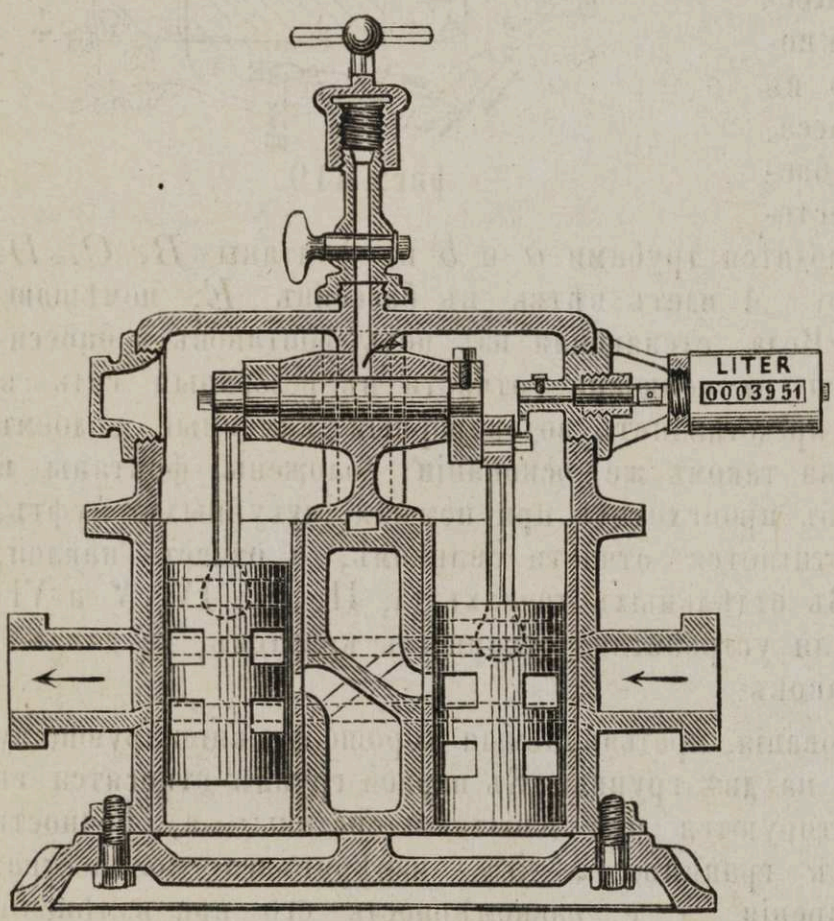
Въ объемныхъ водомѣрахъ количество протекающей воды измѣряется непосредственно (цилиндръ съ поршнемъ, гибкія стѣнки, діафрагма). Эти

*) Wochenschrift des österr. Ingenieur—und Architekten—Vereins. 1877, № 6

водомѣры даютъ одинаково точныя показанія какъ при малыхъ, такъ и при большихъ количествахъ воды. Наиболѣе извѣстныя и употребительныя системы суть: Nicolaus'a и Charmon'a (Парижъ), Frager'a (Парижъ), Kennedy, Frost'a (Лондонъ), Wodward'a (Манчестеръ) Schmid'a (Цюрикъ), Brund (Парижъ), Worthington, (Америка).

Недостатки, объемныхъ водомѣровъ: a) Значительные величина и вѣсъ при соотвѣтственно высокой цѣнѣ; b) большая потеря давленія, чѣмъ въ крыльчатыхъ водомѣрахъ; c) обратные удары въ проводѣ; d) То обстоятельство, что при порчѣ ихъ затрудняется подача воды.

Водомѣръ Кеннеди. Цилиндръ *A* (опредѣленнаго объема), попеременно наполняется и опустошается. Поршень *C* въ видѣ полнаго цилиндра, снабженъ вверху и внизу флянцами. Гидравлическій запоръ поршня *C* въ цилиндрѣ *A* произведенъ резиновымъ кольцомъ *D*; причемъ треніе скольженія замѣняется треніемъ качения. Распредѣленіе воды производится четырехходовымъ краномъ.



фиг. 419 bis.

Водомѣръ Шмида есть поршневой (съ самораспредѣляющейся парой поршней) и отличается отъ другихъ тѣмъ, что лишенъ золотника. Поршни соединены каналами такъ, что чрезъ нихъ происходитъ распредѣленіе воды; слѣдовательно они служатъ въ тоже время золотниками. Два поршня работаютъ здѣсь на одномъ балу съ двумя кривошипами, поставленными подъ угломъ въ 90°. Смазываніе производится густымъ минеральнымъ жиромъ. При употребленіи этого водомѣра надо особенно обратить вниманіе на то, чтобы величина его точно соотвѣтствовала количеству протекающей воды, въ противномъ случаѣ могутъ происходить значительные удары, вредно дѣйствующіе на проводъ (фиг. 419 bis).

Наиболѣе распространена вторая группа водомѣровъ, именно скоростныхъ. Въ этихъ водомѣрахъ протекающая вода приводитъ во вращательное движеніе турбину (крыльчатое колесо, винтъ). Передаточный механизмъ передаетъ число оборотовъ счетчику, который и показываетъ количества протекающей воды. Слѣдовательно здѣсь имѣютъ дѣло не съ прямымъ измѣреніемъ, но счетомъ оборотовъ. Скоростные или пропорціональные водомѣры могутъ удовлетворять всѣмъ требованіямъ по отношенію къ точности, если только измѣряемое количество воды находится въ правильномъ соотношеніи съ величиною впускнаго отверстія.

Наиболѣе распространенныя системы суть слѣдующія: Сименса (Лондонъ); Сименса и Гальске (Берлинъ); Леопольдера (Вѣна); Фаллера (Вѣна); Ризенкранца, Дропа и Дрейера (Ганноверъ); Тейлора (Лондонъ); Мейнеке (Бреславъ); Гермутсъ (Вѣна); Валентинъ (Франкфуртъ) и пр.

Парижской префектурой (15 октября 1880 г.) выработаны слѣдующія правила для пріемки водомѣровъ:

1. Ни одинъ водомѣръ, новый или починенный, не можетъ быть въ Парижѣ пущенъ въ ходъ до тѣхъ поръ, пока онъ не будетъ испытанъ служащими въ обществѣ и не снабженъ особымъ клеймомъ.

2. Къ клейменію допускаются только такія системы водомѣровъ, которыя окончательно или временно были приняты.

3. Они должны выдерживать внутреннее давленіе въ 15 атмосферъ и оставаться при этомъ давленіи плотными и въ промежуткѣ между 0.1 и 7 атмосферами должны функціонировать правильно и долгій срокъ.

4. Водомѣры различныхъ пунктовъ должны быть въ состояніи дѣйствовать правильно при нижеслѣдующихъ количествахъ воды:

Съ наибольшимъ количествомъ проходящей воды

отъ 3000 литр. въ часъ даже при 2 литр. въ минуту.
„ 5000 „ „ „ „ „ 3 „ „ „
„ 10000 „ „ „ „ „ 4 „ „ „
„ 20000 „ „ „ „ „ 6 „ „ „
„ 30000 „ „ „ „ „ 8 „ „ „
„ 60000 „ „ „ „ „ 12 „ „ „
„ 100000 „ „ „ „ „ 15 „ „ „

Подъ количествомъ воды проходящей чрезъ водомѣръ (расходъ воды) разумѣютъ, то наибольшее ея количество, которое аппаратъ въ состояніи доставить въ часъ при равномѣрномъ и постоянномъ дѣйствіи при давленіи въ 3 атмосферы.

5. Тѣмъ не менѣе для этихъ малыхъ количествъ и вообще для количествъ меньшихъ 1 литра въ минуту учреждается предѣлъ ошибки; для количествъ до $^1/_2$ литра въ минуту онъ составляетъ 20%, для большихъ же 10%.

6. Всякое количество вытекающей воды не менѣе 1 литръ въ минуту должно быть указываемо съ точностью до 8% для такихъ водомѣровъ расходъ которыхъ не превышаетъ 3000 литровъ въ часъ; при этомъ указываемое количество допускается только на $^8/_{100}$ меньше дѣйствительнаго доставляемаго количества и ни въ какомъ случаѣ не должно быть больше.

Водомѣрами для количествъ большихъ 3000 литровъ въ секунду надежность достигается только при отдачѣ 2% всей проходящей воды.

7. Какъ только сдѣлается извѣстнымъ, что границы ошибки вредятъ потребителямъ или обществу, такой водомѣръ тотчасъ долженъ быть удаленъ.

Слѣдующая таблица даетъ наибольшую работу водомѣровъ при различныхъ входныхъ отверстіяхъ.

(Выходъ въ плоскости измѣрителя).

Проходное отверстіе въ мм.	Количество протекающей воды въ часъ въ куб. м.						Проходное отверстіе въ мм.
	При высотѣ давленія въ 30 м.	—	При давленіи 3,5 атмосферы.	—	При давленіи 3,0 атмосферы.	При давленіи 4 атмосферъ.	
12—13	2	2.5	4.5	—	5.4	5	12—13
20	3.8	5	8.5	—	—	9	20
25	7	9	11.5	—	9	13	25
35	—	—	—	3.6	-	—	35
40	12	20	28	5.4	30	35	40
50	20	30	40	9.0	40	50	50
	Сименсъ и Гальске.	Тайлоръ.	Розенкранцъ и Дропъ.	Шмидъ.	Фаллеръ.	Леопольдеръ.	

Для опредѣленія большихъ потерь воды въ городскихъ проводахъ пользуются водомѣромъ Deacon'a *) (Deacon waste water meter). Введеніемъ этого водомѣра въ Ливерпулѣ самимъ Deacon'омъ въ 1875 году и въ недавнее время во Франкфуртѣ Линдлеемъ были достигнуты значительныя сбереженія; а именно въ Ливерпулѣ въ 1875 г. расходъ воды со 146 литровъ на человѣка въ день уменьшился до 72 литровъ. Система этого водомѣра уменьшаетъ потери воды на основаніи слѣдующихъ обстоятельствъ:

1. Потери вслѣдствіе присутствія секретныхъ трубъ, клозетовъ, кранонъ и подземныхъ аппаратовъ.

2. Временныя потери вслѣдствіе несовершенства употребляемыхъ аппаратовъ.

3. Расточительность со стороны потребителей.

Водомѣръ Deacon'a состоитъ изъ вертикальной конической трубы, въ которой на вертикальной оси движется круглая шайба. На верхнемъ концѣ оси этой шайбы укрѣплена проволока, которая идетъ черезъ блокъ и имѣетъ на концѣ грузъ. Коническая труба уже всего вверху, и когда аппаратъ включенъ въ проводъ, то вода должна проходить чрезъ него по направленію сверху внизъ.

Если вода въ покоѣ, то шайба, поднимаемая грузомъ вверхъ, занимаетъ самое высшее положеніе и закрываетъ совершенно круглое отверстіе; если же есть расходъ воды, то давленіе подъ шайбой уменьшается до тѣхъ поръ, пока давленіе на верхнюю его поверхность не будетъ соотвѣтствовать грузу; тогда шайба опускается внизъ до тѣхъ поръ, пока кольцевая поверхность между краями шайбы и стѣнками конической трубы не будетъ соотвѣтствовать вѣсу необходимому для пропуска извѣстнаго количества воды. Поэтому каждое вертикальное положеніе шайбы соотвѣтствуетъ совершенно опредѣленному количеству воды, протекающей воды.

Въ верхней коробкѣ водомѣра находится особый аппаратъ съ указателемъ. Вагончикъ, бѣгающій по вертикальнымъ направляющимъ и соединенный съ шайбой проволокой, проходящей черезъ сальникъ принимаетъ участіе въ движеніи шайбы и перемѣщаетъ штивтъ, который наноситъ движенія шайбы на вращающуюся поверхность бумаги въ видѣ діаграммы.

По этой діаграммѣ можно вычислить прямо расходъ воды въ каждый часъ, и суммируя эти количества можно получить общій расходъ воды въ сутки (см. Lindley's Vortrag über Districtsrvassermesser. Gas-Journal. 1885. Nr 3 и 4).

Е. Каналиэація. Падающая въ городахъ дождевая вода и нечистая вода домовъ и фабрикъ должны быть отведены въ закрытыхъ отводныхъ каналахъ въ ниже лежащую рѣку или озеро. Паденіе каналовъ слѣдуетъ дѣлать возможно большое, но при этомъ слѣдуетъ сообразоваться съ уклономъ почвы. Для паденія каналовъ весьма важна разница высотъ уровней почвы и рѣки. Въ Лондонѣ

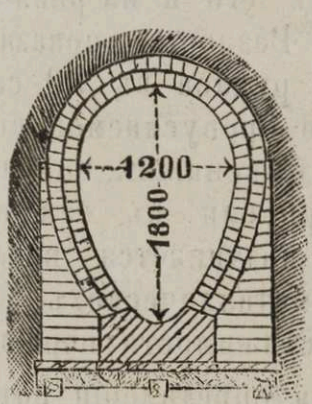
*) Wchenschrift der österr Ingenieur und Architekten — Vereins. 1879 Nrn 11; Annales des ponts et chaussées 1876; Humber стр. 208; Verhandlungen des deutsches Vereins der Gas—und Wasserfachmänner 1884.

паденіе наименьшихъ отводныхъ каналовъ $^1/_{144}$, въ Эдинбургѣ $^1/_{60}$—$^1/_{100}$, между тѣмъ какъ въ городахъ, лежащихъ въ плоской горизонтальной рѣчной долинѣ, паденіе равно 1:3000 и менѣе. Въ Гамбургѣ паденіе главныхъ каналовъ 1:3000, второстепенныхъ 1:1400, 1:500 и 1:150. Очистка подобныхъ весьма слабо наклоненныхъ отводныхъ каналовъ должна совершаться при помощи искусственныхъ приспособленій для промыванія. Можно принять, что паденіе 1:50 достаточно, чтобы безъ полосканія произвести полное стеканіе жидкостей и отбросовъ.

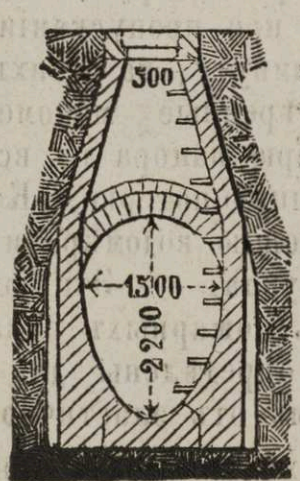
Главнымъ каналамъ надо придать такіе размѣры, чтобы человѣкъ могъ въ нихъ ходить. Входные колодцы слѣдуетъ дѣлать черезъ 200—300 м., чтобы раздѣлить каналы на меньшіе участки съ цѣлью лучшаго ихъ очищенія. Очистка большею частью производится подпруживаніемъ канализаціонныхъ жидкостей и внезапнымъ спусканіемъ ихъ, причемъ конечно уносятся и отложившіяся вещества. Иногда для очистки каналовъ пользуются колебаніемъ горизонта воды въ рѣкахъ, производимымъ приливами и отливами.

Дно каналовъ должно быть сдѣлано изъ очень хорошихъ матеріаловъ, или изъ крѣпкаго бута, или сильно обожженныхъ кирпичей съ цементомъ или изъ цементнаго бетона. Матеріалъ для постройки каналовъ долженъ быть таковъ, чтобы онъ былъ въ состояніи надежно противустоять различнымъ кислотамъ. Профиль каналовъ смотря по ихъ величинѣ весьма различный (яйцеобразный, овальный круглый или прямоугольный). Весьма употребительный профиль для большихъ сооруженій предст. на чер. 420. Онъ сдѣланъ на цементномъ растворѣ, дно его изъ бетона. Меньшіе каналы такого профиля цѣликомъ дѣлаются изъ цемента, круглые каналы составляются изъ глиняныхъ трубъ. Водоотводные каналы фабрикъ въ томъ случаѣ, когда вышеназванные профили при меньшихъ сооруженіяхъ не выполняются, также составляются изъ глиняныхъ трубчатыхъ сегментовъ въ соединеніи съ промежуточной кирпичной кладкой.

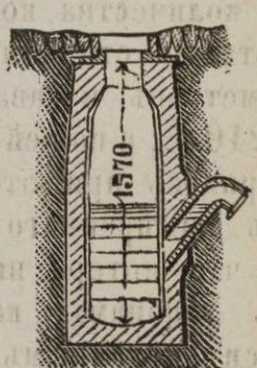
Для осмотра каналовъ слѣдуетъ дѣлать значительное количество входныхъ отверстій. Ихъ получаютъ, выводя въ одномъ мѣстѣ боковыя



фиг. 420.



фиг. 421.



фиг. 422.

стѣнки канала кверху; другія стороны шахты прямо выводятся на усиленномъ сводѣ каналовъ (фиг. 421).

Вода такимъ образомъ проводится въ каналы, чтобы твердыя примѣси не попадали въ нихъ. Это достигается рѣшеткой, положенной передъ

отверстіемъ и устраивая углубленіе для ила и др. отбросовъ въ такомъ родѣ, какъ показано на чер. 422. Восхожденіе испареній изъ канала предотвращается водянымъ запоромъ. Каналы домовъ при соединеніи ихъ съ уличными каналами должны быть діам. въ 16 ст. Засариваніе въ нихъ совершенно устранено большимъ паденіемъ, которое имъ всегда придаютъ.

Если каналы принимаютъ только дождевую воду и воду изъ домовъ, то ихъ прямо можно направить въ ближайшую рѣку или озеро. Другое дѣло когда каналами отводятся экскременты изъ клозетовъ. Въ такомъ случаѣ отведеніе въ рѣку слѣдовало бы тогда только разрѣшать, когда небольшіе города лежатъ при большихъ рѣкахъ, которыя и при низкомъ горизонтѣ имѣютъ достаточное количество воды и съ достаточною скоростью. Нѣкоторые города предварительно очищаютъ отводимую воду, чтобы она свободная отъ многихъ веществъ, пошла въ рѣку, но это находитъ еще мало подражателей. Лучше, и даже выгоднѣе, примѣнять отводную воду для затопленія луговъ и пашенъ, какъ это теперь и производится съ особеннымъ успѣхомъ нѣкоторыми большими городами. Для этого потребны большія площади земли (500—1000 лицъ—1 гектаръ), которыя большею частью возможно доставать по дешевой цѣнѣ въ далекомъ отъ города разстояніи. Вода тогда проводится туда помощью насосовъ.

121. Потеря напора въ пожарныхъ рукавахъ. При проектированіи городскихъ водопроводовъ такъ, чтобы они были приспособлены къ непосредственному тушенію пожаровъ, необходимо при разсчетѣ городской сѣти трубъ и при опредѣленіи силы водоподъемныхъ машинъ принимать во вниманіе: 1) потерю напора въ пожарныхъ рукавахъ и 2) потерю въ воздухѣ—при выбрасываніи водяной струи изъ брандспойта на данную высоту.

Въ виду важности этого вопроса, инженеры Н. П. Зиминъ и К. П. Карельскихъ произвели многочисленные опыты съ кожаными и пеньковыми рукавами діаметромъ $2^1/_2$ д.—Опыты производились слѣдующимъ образомъ: чтобы уменьшить насколько возможно болѣе вліяніе ошибки при отсчитываніи давленій на манометрахъ,—рукавъ брался длиною въ 30 саж.—Для опредѣленія потери напора при пропусканіи черезъ рукавъ опредѣленнаго количества воды въ минуту, на обоихъ концахъ его и на равныхъ высотахъ ставились вывѣренные манометры. — Разность показаній манометровъ и давала потерю напора на всю длину рукава въ 30 саж. или 210 ф.; а по ней и единичную потерю.—Количество пропускаемой воды измѣрялось при этомъ помощію водомѣра и непосредственнымъ наполненіемъ вымѣреннаго резервуара. — Эти опыты привели къ заключенію, что потеря напора въ пожарныхъ рукавахъ не подчиняется вполнѣ тѣмъ законамъ, которые опредѣлены для трубъ металлическихъ, что зависитъ главнымъ образомъ отъ эластичности и растяжимости первыхъ.

На основаніи полученныхъ опытныхъ данныхъ для опредѣленія потери напора въ кожаныхъ и пеньковыхъ рукавахъ удалось составить формулы, которыя можно считать почти совершенно точными, если принять во вниманіе ту сравнительно незначительную длину (до 1000 ф.) этихъ рукавовъ, которую имѣютъ они во время своего употребленія.

I. Общій видъ формулы для пожарныхъ кожаныхъ рукавовъ различныхъ діаметровъ:

$$i = \frac{0{,}0915039.v^2 + 3{,}21289.v - 6{,}2109375}{d^5};$$

гдѣ i—единичная потеря напора, v—скорость въ фут. и d—діам. рук. въ д. Или замѣняя v—соотвѣтствен. расходомъ Q въ ведрахъ въ минуту, получимъ:

$$i = \frac{0{,}161138368.Q^2}{d^9} + \frac{4{,}26350503.Q}{d^7} - \frac{6{,}2109375}{d^5}.$$

По этой формулѣ составлена нижепомѣщенная таблица для опредѣленія потери напора въ кожаномъ рукавѣ діаметромъ $2^1/_2$ дюйма при расходахъ воды отъ 15 до 60 ведеръ въ минуту.

Расходъ воды въ ведрахъ въ минуту. Q	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Единичная потеря напора i. .	0,0506	0,0929	0,1372	0,1837	0,2324	0,2831	0,336	0,3908	0,4479	0,5070
Скорость въ секунду v. . . .	3,18	4,24	5,30	6,36	7,43	8,48	9,55	10,6	11,67	12,73

II. Общій видъ потери напора въ **пеньковыхъ прорезиненныхъ** рукавахъ разныхъ діаметровъ: по данной скорости v

$$i = \frac{0{,}1635738\,v^2 - 0{,}781248\,v + 2{,}148432}{d^5}$$

по данному расходу въ ведрахъ въ минуту

$$i = \frac{0{,}2880534618\,Q^2}{d^9} - \frac{1{,}026716096\,Q}{d^7} + \frac{2{,}148432}{d^5}.$$

Чтобы облегчить опредѣленіе потери напора въ пеньковомъ рукавѣ въ $2^1/_2''$ (наиболѣе употребляемомъ) мы помѣщаемъ ниже таблицу, дающую эту потерю при расходѣ воды отъ 15 до 60 ведеръ въ минуту.

$Q =$	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$i =$	0,0134	0,0180	0,0264	0,0386	0,0544	0,0741	0,0975	0,1246	0,1555	0,1902
$v =$	3,18	4,24	5,30	6,36	7,43	8,48	9,55	10,61	11,67	12,73

Сравнивая эту таблицу съ таковой же для рукавовъ кожаныхъ, видимъ, что потеря напора въ пеньковыхъ рукавахъ слишкомъ въ три раза менѣе, чѣмъ въ кожаныхъ и ближе подходитъ къ потерѣ въ желѣзныхъ асфальтированныхъ трубахъ.

Къ сожалѣнію эти рукава мало употребляются по своей малой прочности и недолговѣчности. Но тамъ, гдѣ употребленіе ихъ бываетъ рѣдко, какъ напр. при частныхъ пожарныхъ машинахъ на фабрикахъ и проч. имъ должно быть сдѣлано предпочтеніе.

Для сохраненія резиновыхъ издѣлій, рекомендуемъ складывать ихъ въ помѣщеніяхъ не слишкомъ сухихъ и съ низкою температурою. Кромѣ спеціальныхъ сортовъ для маслъ, совѣтуемъ при сохраненіи резиновыхъ издѣлій устранять вліяніе маслъ вообще, въ особенности минеральныхъ маслъ и жирныхъ веществъ. Для сохраненія эластичности и гибкости, рекомендуемъ по временамъ обтирать ихъ растворомъ аммоніака.

Прорезиненные рукава.

Цѣны за аршинъ въ копѣйкахъ.

Внутр. діам. въ анг. д.	1	1¼	1½	1¾	2	2¼	2½	2¾	3	3½	4
Внутри сѣрой резины.	73	92	106	120	135	149	165	184	210	270	330
„ красной „ .	96	120	140	163	182	208	228	265	290	—	—

122. Потеря напора при движеніи водяной струи въ воздухѣ. Если въ горизонтальной стѣнкѣ сосуда, въ которомъ вода находится подъ нѣкоторымъ давленіемъ, сдѣлать отверстіе, то изъ него будетъ бить вверхъ струя воды въ видѣ фонтана. Чѣмъ больше давленіе, подъ которымъ находится вода, тѣмъ бьющая струя будетъ выше.—При малыхъ давленіяхъ отъ 1 до 15 фут. водяного столба, высота струи почти равна этому давленію, но чѣмъ выше струя, другими словами, чѣмъ больше давленіе въ сосудѣ, тѣмъ потеря въ высотѣ струи значительнѣе и возрастаетъ съ увеличеніемъ напора весьма быстро. Эта потеря зависитъ: 1) отъ сопротивленія воздуха; 2) отъ вліянія падающихъ частицъ воды на бьющую вертикально струю и наконецъ 3) отъ очертанія и величины выпускного отверстія.—Округленное отверстіе оказываетъ меньшее вліяніе на потерю въ высотѣ, чѣмъ всякое другое. Кромѣ того изъ короткой конической насадки бьющая водяная струя достигаетъ большей высоты, нежели при отверстіи въ тонкой стѣнкѣ.—Имѣя въ виду главнымъ образомъ приспособленіе городскихъ водопроводовъ къ непосредственному тушенію пожаровъ, инженеры Зиминъ и Карельскихъ произвели рядъ опытовъ для опредѣленія потери въ высотѣ струи, или, что тоже, для опредѣленія потери напора въ воздухѣ, при выбрасываніи водяной струи изъ пожарныхъ брандспойтовъ.—Брандспойты при опытахъ брались различныхъ діаметровъ: въ $1\frac{1}{2}''$, $1''$, $\frac{7}{8}''$, $\frac{3}{4}''$, $\frac{5}{8}''$, $\frac{1}{2}''$ и $\frac{7}{8}''$.—Давленіе у основанія брандспойтовъ измѣрялось манометромъ и постепенно увеличивалось отъ 13 до 128 футъ водяного столба.—Высота струи опредѣлялась непосредственно (опыты произв. близъ высокой дымовой трубы) и помощію инструмента. Что касается количества выбрасываемой воды, то оно измѣрялось водомѣромъ и посредствомъ наполненія вымѣреннаго бака. Изъ этихъ опытовъ выяснилось, что потеря напора (h) приблизительно, прямо пропорціональна квадрату скоростнаго напора (H) и обратно пропорціональна діаметру брандспойта (d), т. е. $h=A.\frac{H^2}{d}$ при чемъ при H и h, выраженныхъ въ футахъ и d—въ дюймахъ, изъ опытовъ коэффиц. A опредѣлился равнымъ: $A=0{,}002$; такъ что: h ф.$=0{,}002\frac{H^2}{d}$ . . . I. Или высота струи (S) равна $S=H\left(1-0{,}002\frac{H}{d}\right)$ . . . . . II. и наоборотъ

отсюда же при данномъ S необходимый напоръ у основанія брандспойта опредѣлится изъ уравненія.

$$H^2 - 500.\ Hd + 500\ S.\ d = 0 \ldots . \quad \text{III.}$$

Эти формулы не представляютъ собою совершенно вѣрнаго рѣшенія задачи, но разность между высотою струи, полученной непосредственнымъ опытомъ и вычисленной по формулѣ въ предѣлахъ отъ 20 до 111 ф. давленія не превышаетъ 1,5′. Для практическихъ цѣлей такое приближеніе вполнѣ можетъ быть допущено, такъ какъ несовершенство въ конструктивномъ отношеніи употребляемыхъ брандспойтовъ и, тѣмъ болѣе, вліяніе вѣтра на высоту струи такъ значительны, что могутъ уменьшать эту высоту на десятки футовъ.—Опыты показали, что обыкновенный вѣтеръ уже сильно вліяетъ на струю, онъ ее разбиваетъ и уменьшаетъ высоту на 30—50% . Поэтому при опредѣленіи необходимаго напора у пожарныхъ крантовъ всегда слѣдуетъ полученныя по формулѣ или взятыя въ нижепомѣщенной таблицѣ величины нѣсколько увеличивать, такъ какъ во время пожаровъ значительный вѣтеръ вблизи горящихъ зданій, бываетъ уже и отъ самаго пламени.

Въ практикѣ чаще всего можетъ встрѣтиться вопросъ: каковъ долженъ быть напоръ у основанія брандспойта и каково должно быть отверстіе послѣдняго, чтобы имѣть данную высоту струи при данномъ же расходѣ воды? Въ виду этого составлена нижеслѣдующая таблица, помощью которой этотъ вопросъ можетъ быть рѣшонъ прямо, безъ вычисленій.

Расходъ воды Q въ этой таблицѣ опредѣленъ по формулѣ: $Q = \frac{\pi d^2}{4} . v$

или $Q = \frac{\pi d^2}{4} . \sqrt{2gH} = \frac{\pi}{4} \sqrt{2g} . \sqrt{H} . d^2 = A . \sqrt{H} . d^2$; гдѣ постоянный коэффиц. A на основаніи непосредственныхъ опытовъ уменьшенъ, такъ какъ въ вышеприведенной теоретической формулѣ не приняты во вниманіе: потеря напора въ самомъ брандспойтѣ и при отверстіи.

При H—выраженномъ въ футахъ, d—въ дюймахъ и Q въ ведрахъ въ минуту $Q = 5{,}76 . \sqrt{H} . d^2 \ldots .$ IV.

Кромѣ того принимая во вниманіе что размѣры для отверстія брандспойта выражаются обыкнов. въ $^1/_8$ дюйма,—предыдущимъ формуламъ, для удобства вычисленій данъ слѣдующій видъ.

III . . . $H^2 - 62{,}5 . H . d + 62{,}5 . S . d = 0$ и

IV . . . . $Q = 0{,}09 . \sqrt{H} . d^2$, гдѣ

H и S въ футахъ, Q—въ ведрахъ въ минуту и d въ осьмыхъ дюйма.

Примѣръ. Потеря напора въ рукавахъ прорезиненныхъ діаметромъ $2^1/_2$ дюйма при проходѣ 50 вед. въ 1 минуту.

$i = 0{,}1246$—(на единицу длины). Такъ что при длинѣ рукава въ 30 с. вся потеря будетъ $il = 0{,}1246 \times 30 = 3{,}74$ саж. Потеря напора въ воздухѣ,—или же необходимый напоръ H у брандспойта при данной высотѣ S струи можетъ быть опредѣленъ (согласно опытамъ), если задаться:

$S = 15$ саж. $= 105'$ и $d = \frac{7''}{8}$; то $H = 175{,}3'$ и $Q = 58$ ведръ.

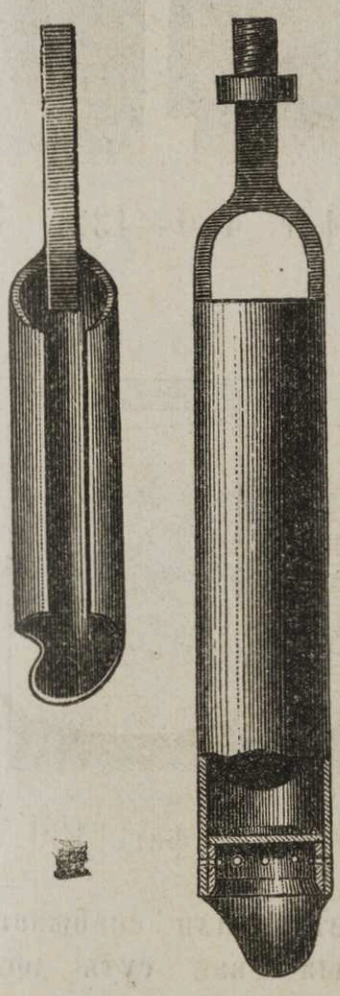
Таблица для опредѣленія необходимаго давленія у основанія брандспойта и его діаметра по даннымъ: расходу воды и высотѣ струи въ воздухѣ.

Высота струи въ саженяхъ *S*	Высота струи въ футахъ *S*.	Діаметръ отверстія у брандспойта въ дюймахъ.																	
		1/4″.		1/2″.		5/8″.		3/4″.		7/8″.		1″.		1 1/4″.		1 1/2″.		1 3/4″.		2″.	
		Расх. в. въ ведр. въ м. *Q*.	Необх. напоръ у бр. *H*.	*Q*.	*H*.	*Q*.	*H*.	*Q*.	*H*.	*Q*.	*H*.	*Q*.	*H*.	*Q*.	*H*.	*Q*.	*H*.	*Q*.	*H*.	*Q*.	*H*.
1	7	0,98	75	3,89	7,3	6,08	7,3	8,74	7,2	11,8	7,2	15,44	7,2	23,94	7,1	34,47	7,1	46,92	7,1	61,18	7,1
2	14	1,39	15	5,5	14,9	8,60	14,6	12,3	14,6	16,7	14,5	21,8	14,5	34,2	14,4	47,9	14,3	65,2	14,3	85,2	14,2
3	21	1,87	27	6,9	23,2	10,6	22,4	15,2	22,3	20,7	22,1	27,0	22,0	41,4	21,8	59,6	21,7	81,1	21,6	105,9	21,5
4	28	2,33	42	8,1	32,2	12,5	30,9	17,8	30,5	24,2	30,1	31,1	29,8	48,6	29,4	69,9	29,2	95,2	29,0	124,4	28,9
5	35	—	—	9,3	42,1	14,2	40,0	20,0	38,7	27,3	38,4	35,1	37,9	54,9	37,3	77,7	36,9	105,8	36,6	138,2	36,4
6	42	—	—	9,5	53,5	15,7	49,8	22,0	48,2	29,9	47,1	39,1	46,3	60,3	45,3	85,5	44,7	116,4	44,3	152,0	44,0
7	49	—	—	11,8	66,9	17,5	60,6	24,6	58,0	33,0	56,2	42,6	55,2	65,7	53,6	93,3	52,8	127,0	52,0	163,5	51,7
8	56	—	—	13,2	84,7	19,1	72,9	26,5	68,6	35,7	65,9	46,0	64,3	71,1	62,2	101,0	61,0	135,8	60,2	177,4	59,6
9	63	—	—	—	—	20,9	87,3	28,8	80,2	38,3	75,6	49,5	74	75,6	71,1	107,5	69,5	144,6	68,4	188,9	67,6
10	70	—	—	—	—	22,9	105,7	31,1	93,2	41,0	87,5	53	84,2	80,1	80,4	114,0	78,2	153,4	76,8	198,1	75,8
11	77	—	—	—	—	26,3	137,3	33,6	108,3	44,0	99,7	55,8	95,1	84,6	90	120,5	87,2	162,2	85,4	209,6	84,2
12	84	—	—	—	—	—	—	36,6	127,1	46,7	113,4	59,3	106,9	90	100	127	96,4	171,1	94,2	221,1	92,6
13	91	—	—	—	—	—	—	40,5	155,4	49,8	129,1	62,7	119,7	94,5	110,6	133,5	106,0	178,1	103,2	230,4	101,3
14	98	—	—	—	—	—	—	—	—	53,3	148,5	66,2	133,9	99	121,7	138,6	116,0	185,2	112,1	241,9	110,2
15	105	—	—	—	—	—	—	—	—	58,2	175,3	70,2	150	103,5	133,6	145,1	126,3	194,0	122,1	251,1	119,3

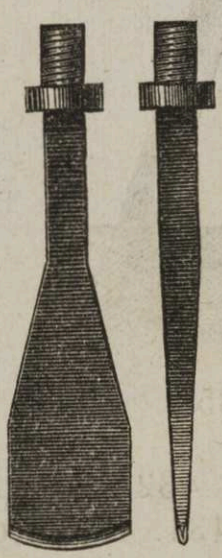
При $d=3/4''$ и $S=105'$. Получаются мнимыя рѣшенія.—Неисправленная формула Бокса: $H^2-80\ Hd+80\ Sd=0$ даетъ менѣе надежные результаты. Такимъ образомъ чтобы имѣть струю высотою 15 саж. Необходимо имѣть у пожарнаго кранта напоръ$=3{,}74\times7+175{,}3=201{,}5'$ то есть около 6 атмосферъ.

При высокихъ струяхъ слѣдуетъ принимать большее количество воды, даваемое крантомъ. Такъ что слѣдуетъ разсчитывать, на количество воды $Q=60$ вед. въ 1 мин. $l=\frac{7''}{8}$ или $1''$.—Тогда при давленіи у пожарнаго кранта въ 6 атмосф.; и не менѣе 5,5 атм. получится навѣрное струя въ 15 саж. Потерю напора въ чугунныхъ трубахъ лучше опредѣлять по таблицамъ Дарси.

124. Вспомогательныя работы для водяныхъ сооруженій. Буреніе. Примѣняемое при изслѣдованіи почвы буреніе, мало отличается отъ буренія артезіанскихъ колодцевъ. Для строительныхъ цѣлей изслѣдованія рѣдко дѣлаютъ глубже 20 мет. и буры имѣютъ большею частью діаметръ 7—12 цент.м.; при этомъ скважины только въ исключительныхъ случаяхъ одѣваются обсадными трубами. Не то бываетъ при буреніи артезіанскихъ колодцевъ; тутъ буровая скважина часто прокладывается на глубинѣ нѣсколькихъ сотъ метровъ и съ самаго начала ее одѣваютъ непроницаемыми для воды трубами большого по возможности діаметра. Трубы состоятъ большею частью изъ листоваго желѣза, при большемъ діаметрѣ также изъ чугуна. Онѣ должны быть совершенно гладкія, а нижній край ихъ долженъ быть заостренъ.



фиг. 423—424.



фиг. 425—426.

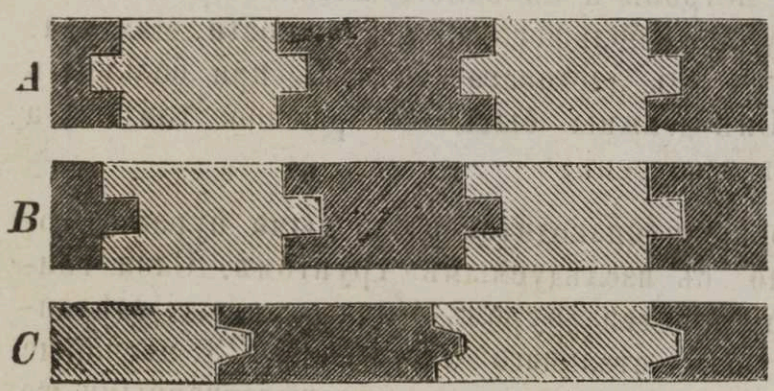
Буреніе производится различными бурами, сообразно съ изслѣдуемымъ грунтомъ. Слои глины проходятся буромъ (для глины) сдѣланнымъ изъ стальнаго листа фиг. 423, песчаные грунты пробуравываются соотвѣтственными же буравами фиг. 424 (въ верху имѣется открытый цилиндръ изъ листоваго желѣза длиною въ 30—80 ст., а внизу находится клапанная коробка. Въ скалистыхъ грунтахъ употребляются буровое долото фиг. 425—426. Его то поднимаютъ, то опять опускаютъ помощію буровой штанги, поворачивая его въ то же время. Освобождающійся изъ подъ него матеріалъ, удаляется помощью инструмента, похожаго на буръ для песка. Въ новѣйшее время для глубокаго буренія въ скалахъ большею частью употребляютъ алмазный буръ.

Приготовленіе, загораживаніе и выкачиваніе строительной ямы. При изслѣдованіи строительнаго грунта могутъ оказаться слѣдующіе случаи: 1) твердый грунтъ находится непосредственно на поверхности или же на незначительной глубинѣ не болѣе 3 м.; 2) твердый строительный грунтъ находится только

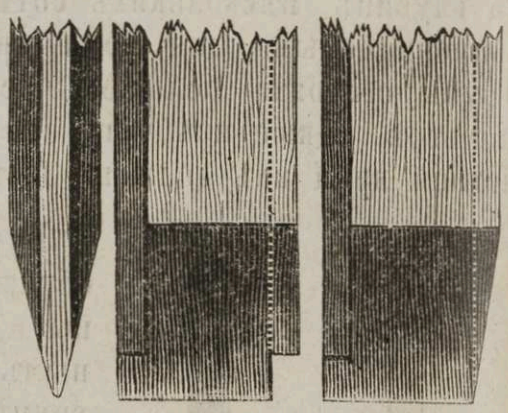
на значительной глубинѣ, онъ можетъ быть достигнутъ извѣстными средствами; 3) имѣется только мягкій, сжимаемый грунтъ. Способъ устройства основаній зависитъ отъ рода почвы и отъ того имѣется ли вода, или нѣтъ, далѣе можно ли эту воду удалять откачиваніемъ, послѣ того какъ строительная яма снабжена соотвѣтственнымъ огражденіемъ, или же быть можетъ свойство почвы не позволяетъ откачиваніе воды.

Строительную яму дѣлаютъ нѣсколько больше фундамента, но не глубже его. Ямы для ростверка дѣлаются на 0,6 мет. глубже подошвы фундамента, чтобы потомъ возможно было срѣзать сваи.

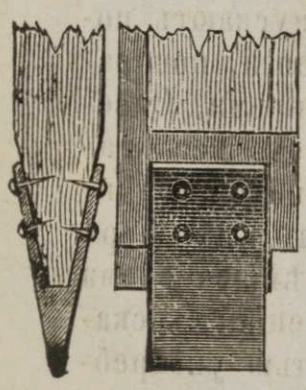
Строительныя ямы, лежащія непосредственно въ водѣ или близъ воды, должны быть окружаемы шпунтовымъ тыномъ или же перемычками. Шпунтовая стѣнка обладаетъ малою непроницаемостью для воды; ее готовятъ изъ досокъ толщиною 7 до 10 ст. и шириною въ 25 до 35 ст. съ квадратнымъ, а иногда и клиновиднымъ шпунтомъ (фиг. 427—429).



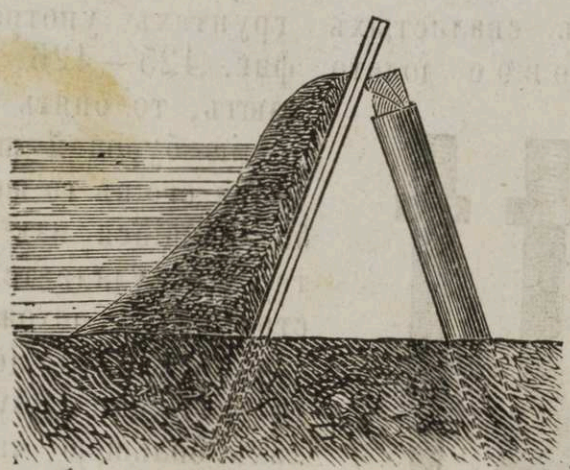
фиг. 427—429.



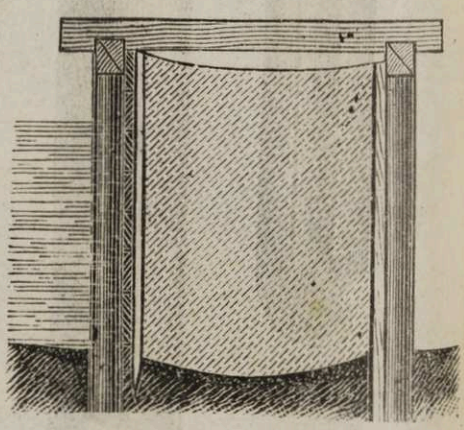
фиг. 430—432.



фиг. 433—434.



фиг. 435.



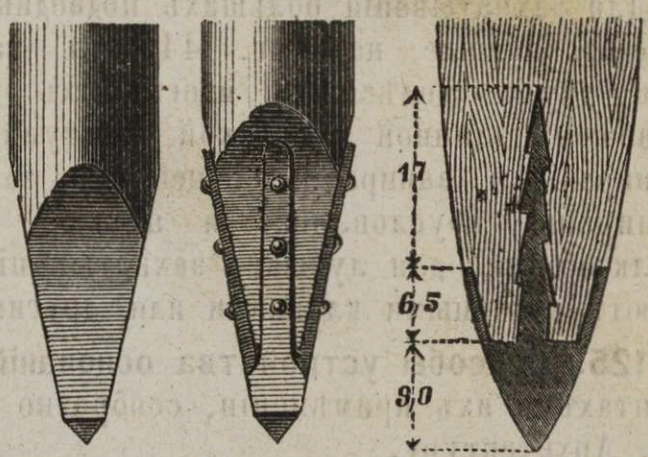
фиг. 436.

Нижній конецъ досокъ фиг. 430—432 заостряется или снабжается желѣзнымъ башмакомъ. фиг. 433—434. Шпунтовыя сваи суть доски толщиною въ 10—25 ст. Строительныя ямы близъ рѣки или моря должны быть въ иныхъ случаяхъ совершенно сухія; ихъ окружаютъ тогда стѣнами, состоящими изъ перемычекъ. Если глубина воды небольшая, то перемычка образуется изъ щитовъ и наклонныхъ свай и покрывается земляной насыпью (фиг. 435), при глубинѣ большей 1,5 м. дѣлаются

т. наз. ящичныя перемычки. Они составляются изъ двухъ вертикальныхъ деревянныхъ стѣнокъ (фиг. 436); промежутокъ между ними засыпается по возможности сухой глинистой землей. При глубинѣ большей 3,5 м. деревянныя стѣнки перемычки необходимо сдѣлать шпунтовыми.

Откачиваніе воды изъ строительной ямы обыкновенно дѣлается изъ т. н. зумфа (или пріямка), т. е. углубленія въ днѣ ямы; при этомъ необходимо обращать вниманіе, чтобъ зумфъ не питался непосредственно грунтовою водою или не содержалъ притокъ изъ ключей. Въ такомъ случаѣ надо стараться забивать ключи или устраивать стѣнки такъ, чтобъ притокъ воды былъ бы возможенъ только сверху.

Забиваніе, подпиливаніе и выдергиваніе свай и шпунтоваго тына. Форма и изготовленіе забиваемыхъ свай весьма различны. Весьма важно, чтобы сваи были прямыя, гладкія т. е. не имѣли бы выступающихъ сучковъ и срѣзаны прямо. Толщина свай записать отъ глубины забиванія, рода почвы и длины свай. Сваи подъ основаніе бываютъ 3 м. длиною при 25 ст. минимальной толщины, при увеличеніи длины сваи на 1 метръ толщина ея увеличивается на 1—2 ст. Такихъ же размѣровъ бываютъ сваи подъ набережныя, сваи для подмостей бываютъ и крѣпче и слабѣе. Конецъ сваи, забиваемый въ землю, заостряется съ 4 сторонъ, а при каменистомъ грунтѣ на него надѣвается желѣзный башмакъ (фиг. 437—439). Голова сваи при забиваніи копромъ снабжается кольцомъ изъ наилучшаго желѣза. Сваи подъ основаніе для правильнаго забиванія направляются вдоль копра канатами или цѣпями, шпунтовыя же доски—парами брусьевъ.



фиг. 437—439.

Слѣдуетъ избѣгать постановку т. наз. подбабка. Онъ примѣняется въ томъ случаѣ, когда требуется забивать сваю на такую глубину, на которой баба уже не достаетъ.

Срѣзываніе свай и шпунтоваго тына подъ водой совершается т. наз. подводными пилами. Это суть пилы съ крупными зубцами и большою разводкою, приводимыя въ движеніе платформою и рамою или какъ круглыя пилы особымъ приспособленіемъ и сегментныя пилы, приводимыя въ движеніе кривошипомъ, насаженнымъ на оси. Шпунтовыя стѣнки, ограждающія сухія ямы, могутъ быть удалены дешевле и удобнѣе, если ихъ загнуть въ сторону котлована и отломить затѣмъ.

Часто приходится выдергивать забитыя сваи (шпунтовыя стѣнки, сваи подъ подмости, сваи разбитыя (разщепленныя) при забиваніи). Эта операція можетъ быть произведена только особенно сильными приспособленіями, т. к. для выдергиванія сваи, смотря по діаметру и глубинѣ забиванія, потребна сила отъ 8000—20000 килгр. Приспособленія состоятъ изъ тяжелой ваги, поднимаемой воротомъ и затѣмъ опускаемой, а для

болѣе слабыхъ свай и шпунтовыхъ досокъ изъ лебедки на козлахъ и подвижнаго блока, помѣщаемаго вертикально надъ сваей, или же изъ деревянныхъ и желѣзныхъ винтовъ, примѣняемыхъ всегда попарно.

Вычерпываніе грунта при небольшихъ постройкахъ и глубинѣ воды въ 2 мет. происходитъ прямо ручнымъ черпакомъ съ ручкою. Этотъ инструментъ состоитъ изъ желѣзнаго кольца, діам. 40 цент., имѣющаго широкое въ 10 цент. рѣжущее ребро, и прикрѣпленнаго къ нему изъ парусины ведро. Ручка толщиной въ 7 цент. и почти вдвое длиннѣе глубины воды. При болѣе солидныхъ постройкахъ и большей глубинѣ воды примѣняются особенныя землечерпальныя машины съ желѣзными ковшами или ведрами. На каждыхъ 3 или 4 звеньяхъ безконечной цѣпи укрѣпляется жестяное ведро съ оставленнымъ рѣжущимъ ребромъ, вмѣстимостью въ 0.2—0.5 кб. метр.; безконечная цѣпь проходитъ черезъ 2 барабана, изъ которыхъ верхній (4-хъ гранный) является ведущимъ, а нижній (6 гранный) ведомымъ. Цѣпь имѣетъ либо вертикальное, либо наклонное положеніе.

При подводныхъ сооруженіяхъ встрѣчаются еще съ работами меньшей важности, какъ то: взрываніе, удаленіе раздробленнаго матеріала, подниманіе камней, водолазныя работы подъ водой и т. п. Взрываніе примѣняется только при удаленіи подводныхъ скалъ; затѣмъ раздробленный матеріалъ удаляется большими желѣзными граблями, которые волокутся лошадьми или пароходомъ.

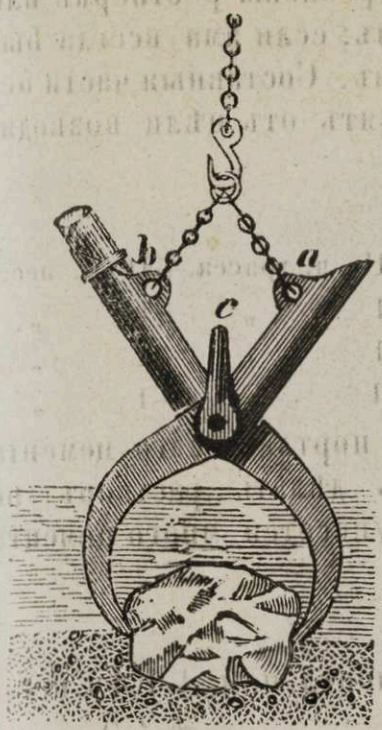
Для захватыванія большихъ подводныхъ камней употребляются клещи, представленные на фиг. 440 въ зажатомъ видѣ. Клещи состоятъ изъ двухъ желѣзныхъ изогнутыхъ рычаговъ, одинъ изъ которыхъ снабженъ длинной рукояткой, выступающей надъ водой и служащей для отпиранія и запиранія клещей при захватываніи ими камня; крѣпкое запираніе обусловливается цѣпью. Нижнія части клещей сдѣланы вилкообразно для лучшаго захватыванія камней. Большіе камни поднимаютъ вставными клиньями или другими приспособленіями.

125. Способы устройства основаній. Болѣе общія свѣдѣнія о фундаментахъ и ихъ примѣненіи, сообразно съ почвенными и др. условіями см. Архитектуру.

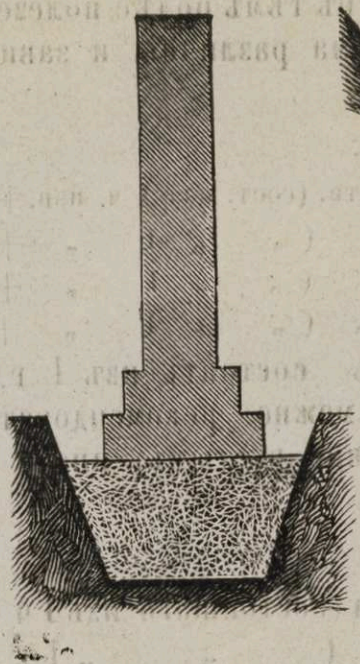
1. О непосредственномъ веденіи каменной кладки съ поверхности обстоятельно говорится въ отд. „архитектуры“. Къ этому слѣдуетъ прибавить, что при подводныхъ сооруженіяхъ необходимо примѣнять гидравлическій растворъ; далѣе, часто бываетъ нужно вывести фундаментъ изъ крѣпкаго камня, т. к. обыкновенные кирпичи, не обладаютъ достаточною крѣпостью, въ особенности при косой передачѣ давленія.

2. Песчаная насыпь (фиг. 441) съ выгодою можетъ примѣняться тамъ, гдѣ нечего бояться подмыванія водой, и гдѣ въ противномъ случаѣ пришлось бы употребить лежни. Насыпь должна быть на 60 до 90 ст. (съ обѣихъ сторонъ) шире основанія кладки, далѣе она должна быть хорошо промочена и высотою въ 1 до 2 метра. Земляная насыпь въ 2 м. по опыту выдерживаетъ тяжесть въ 30000 до 35000 клг. на кв. м. не давая видимой осадки (т. е. небольше $1^1/_2$ сантиметр.).

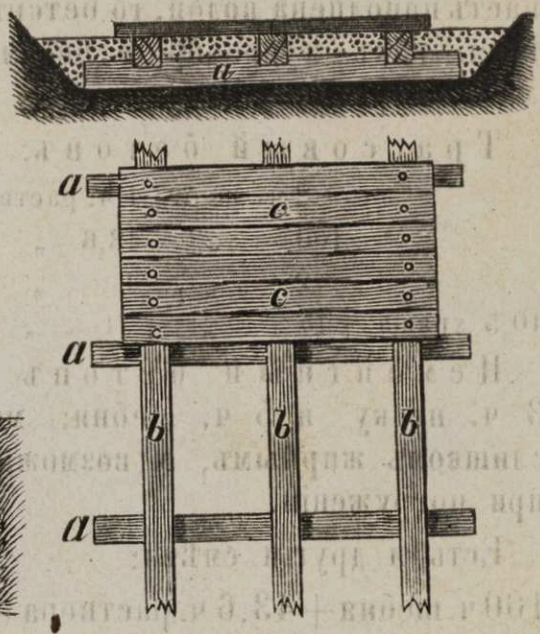
3. На мѣсто песочной насыпи устраиваютъ лежни (фиг. 442—443), тамъ гдѣ происходитъ подмываніе водою. Лежни составляются изъ по-



фиг. 440.



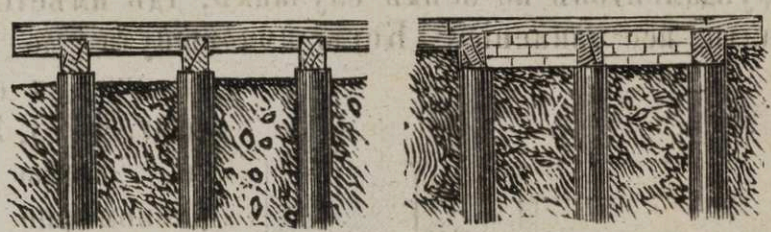
фиг. 441.



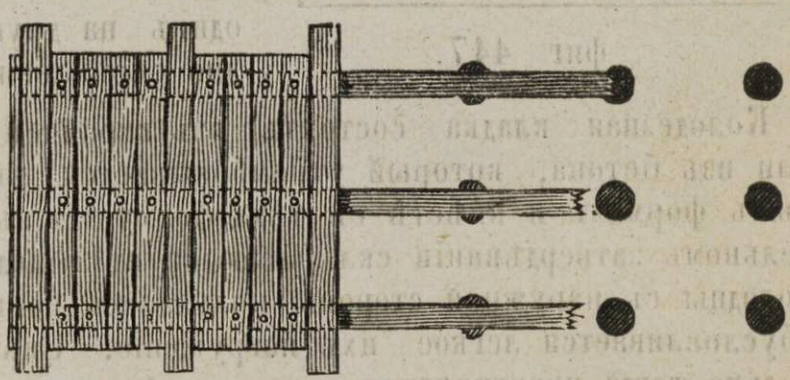
фиг. 442—443.

перечныхъ брусьевъ a, продольныхъ b и прибитыхъ къ нимъ гвоздями досокъ c; промежутки заполняются глиной, бутовой кладкой или бетономъ. Толщина брусьевъ бываетъ отъ 25 до 30 цент. Лежни всегда располагаются ниже самаго низкаго горизонта грунтовыхъ водъ.

4. Ростверкъ (фиг. 444—446) тѣмъ отличается отъ лежней, что продольные брусья лежатъ на забитыхъ сваяхъ. Сваи забиваются на 0,5 м. ниже горизонта низкихъ водъ. Сваямъ длиною въ 5 до 6 м. даютъ толщину въ 20 до 25 ст.; при увеличеніи длины на 1 метр. толщина увеличивается на 1 до 1,5 ст. Допускаемая нагрузка на сваю въ 24 ст. толщины равна 25000 квд., при толщинѣ въ 30 ст. — 50000 клгр. Сваи забиваются въ разстояніи 0,8 до 1,2 м. другъ отъ друга, наложенные на нихъ продольные брусья имѣютъ 25 ст. въ квадратѣ, поперечные брусья нѣсколько слабѣе. Чтобы вся площадь между продольными брусьями участвовала въ принятіи и передачѣ давленія, промежутокъ между ними тщательно заполняется или какъ показано на фиг. 667 выводится правильная кладка. Фиг. 668 показываетъ отчасти расположеніе свай и отчасти ростверкъ.



фиг. 444—445.



фиг. 446.

5. Кладка бетона. Повсюду, гдѣ д. б. употреблены ростверкъ или лежни, въ особенности пригодно заполненіе бетономъ; если яма всегда бываетъ наполнена водой, то бетонъ тѣмъ болѣе полезенъ. Составныя части бетона, какъ и пропорціи весьма различны и зависятъ отъ цѣли возводимаго сооруженія.

Трассовый бетонъ:

2 ч. щеб. + 1 ч. раств. (сост. изъ 1 ч. изв. + 1½ ч. трасса. + 1½ ч. пес.)
100 „ + 43,6 „ („ „ 1 „ + 1 „ + 1 „)
2 „ + 1 „ („ „ 1 „ + 1 „ + 1 „)
40,5 хряща + 45 „ + 54 „ („ „ 1 „ + 1 „ + 1 „)

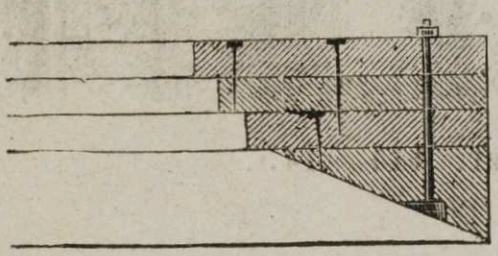
Цементный бетонъ состоитъ изъ 1 г. портландскаго цемента 3 ч. песку и 5 ч. щебня; можно рекомендовать дѣлать растворъ не слишкомъ жирнымъ, и возможно густымъ, иначе унесется много цемента при погруженіи.

Есть и другія смѣси:

100 ч. щебня + 43,6 ч. раствора (состоящаго изъ 1 ч портл. цем. + 1,4 ч. пес.)
100 „ „ + 43,6 „ „ („ „ 1 „ „ „ + 2,5 „ „)
2 „ „ + 1 „ „ („ „ 1 „ „ „ + 3 „ „)
1 „ „ + ¾ „ „ („ „ 1 „ „ „ + 4 „ „)

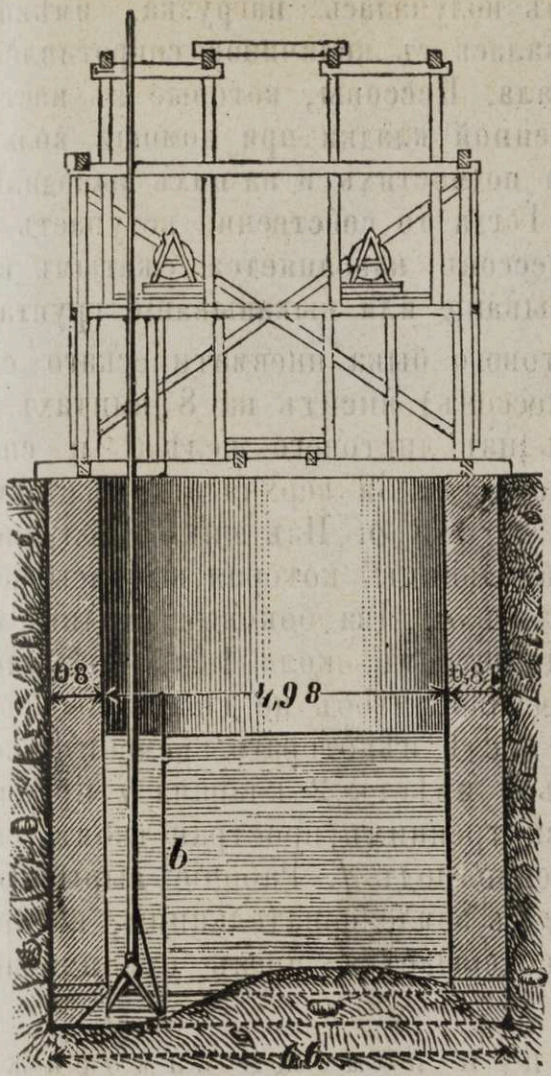
При бетонныхъ работахъ углубленіе котлована производится вычерпываніемъ, затѣмъ огораживаютъ котлованъ шпунтовымъ рядомъ или другимъ приспособленіемъ и приступаютъ къ разравниванію подъ основанія бетона. При погруженіи и во время затвердѣванія бетона не слѣдуетъ отливать воду изъ котлованы.

6. Опускные колодцы могутъ примѣняться при устройствѣ фундаментовъ во всѣхъ случаяхъ, гдѣ имѣется грунтъ, способный воспринять все давленіе. Когда яма вынута до горизонта грунтовыхъ водъ, на дно ея опускаютъ деревянное кольцо (фиг. 447). Это кольцо назначено для того, чтобы осадка кладки происходила равномѣрно и чтобы облегчить погруженіе колодца. Кольца обыкновенно составляются изъ 2 до 4 рядовъ косяковъ толщиной въ 4 до 8 цент., наложенныхъ одинъ на другой въ перевязку и солидно скрѣпленныхъ болтами.

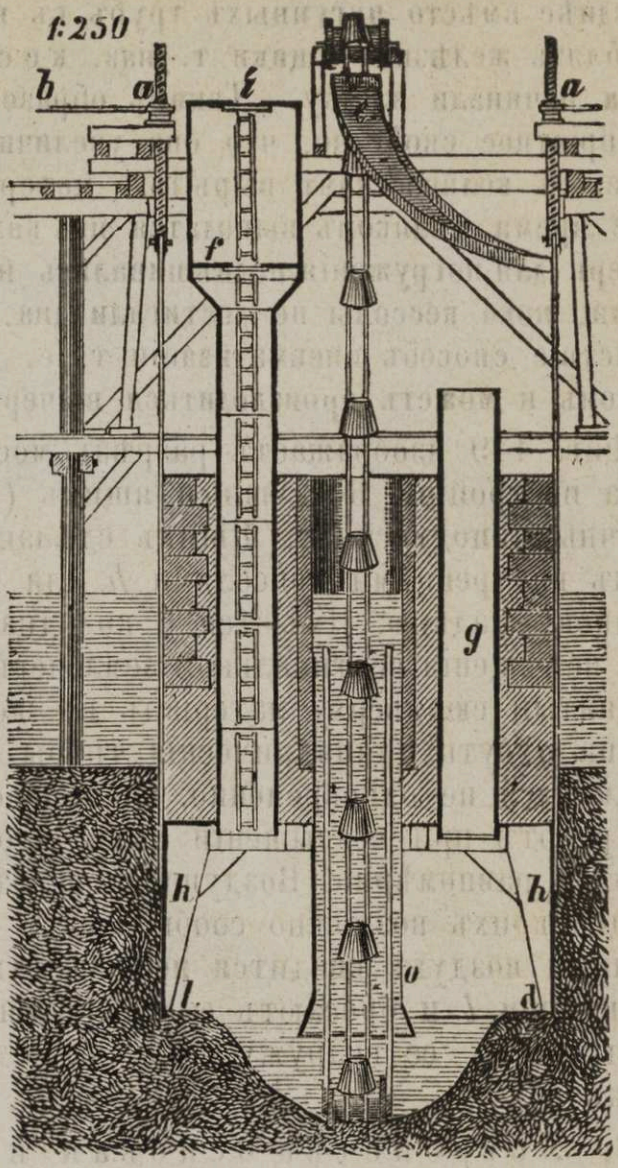


фиг 447.

Колодезная кладка состоитъ изъ кирпичей на цементномъ растворѣ или изъ бетона, который утрамбовывается въ деревянныхъ или желѣзныхъ формахъ и вмѣстѣ съ тѣмъ формуется въ кольца которыя по окончательномъ затвердѣваніи складываются въ колодецъ. Главное условіе, чтобы колодцы съ наружной стороны получались по возможности гладкіе, чѣмъ и обусловливается легкое ихъ погруженіе. Скрѣпленіе колодцевъ болтами только тогда практикуется, если изслѣдованная заранѣе почва заставляетъ опасаться разрыва или неправильнаго погруженія колодцевъ, что большею частью всегда бываетъ въ глинистой почвѣ. Въ такихъ почвахъ, колодцы кверху съужаютъ для отстраненія увязанія ихъ. Погруженіе колодцевъ имѣетъ мѣсто, когда земля извнутри вынимается ручными или машинными черпаками и колодецъ сверху погружается большою тяжестью (фиг. 448).



фиг. 448.



фиг. 449.

7. Пневматическій способъ устройства основаній. Этотъ способъ первоначально состоялъ въ томъ, что полые чугунные цилиндры, открытые снизу, а сверху закрытые клапанами герметически, ставились въ русло рѣки. Затѣмъ воздухъ внутри трубы по возможности разрѣжался, вслѣдствіе чего вода снизу устремлялась въ почти безвоздушное пространство и разрыхляла лежащій подъ трубой грунтъ, а цилиндръ нагруженный значительнымъ вѣсомъ погружался немного въ почву. Это продолжалось довольно продолжительное время пока погруженіе было достаточное. Хотя эти т. наз. пневматическіе цилиндры и можно было при значительной искусственной нагрузкѣ легко вогнать въ разрыхленный песокъ или хрящеватый грунтъ, но при этомъ встрѣчались нѣкоторыя неудобства, такъ какъ приходилось снимать верхнюю крышку чтобы выкачать воду и вынуть вошедшую землю, послѣ чего крышка опять закрывалась и воздушный насосъ дѣйствовалъ съизнова и т. д. Этотъ способъ подвергался многимъ измѣненіямъ и улучшеніямъ, пока не пришли къ мысли вмѣсто разрѣженія воздуха примѣнить сгущеніе его. Тогда рабочіе свободно могли уже работать внизу въ трубѣ, такъ какъ сжатый воздухъ сдерживалъ воду. Рытье грунта происходило изнутри и вырытое отправляли наружу черезъ воздушный шлюзъ, цѣль котораго препятствовать потерѣ всего сжатаго воздуха,

Позднѣе вмѣсто чугунныхъ трубъ съ нагруженною тяжестью стали употреблять желѣзные ящики т. наз. кессоны, на которыхъ съ самаго начала начинали кладку. Такимъ образомъ получалась нагрузка, имѣвшая то пріятное свойство, что она увеличивалась съ величиною сопротивленій т. е. съ количествомъ вырытаго матеріала. Кессоны, которые въ настоящее время цѣликомъ выводятся изъ каменной кладки при помощи кольца, теперь для погруженія подвѣшивались на подмостяхъ и на нихъ выводились быки, пока кессоны не достигали дна. Тогда то собственно вступаетъ въ дѣйствіе способъ пневматизаціи т. е. кессонъ наполняется сжатымъ воздухомъ и можетъ производиться вычерпываніе или выкапываніе грунта.

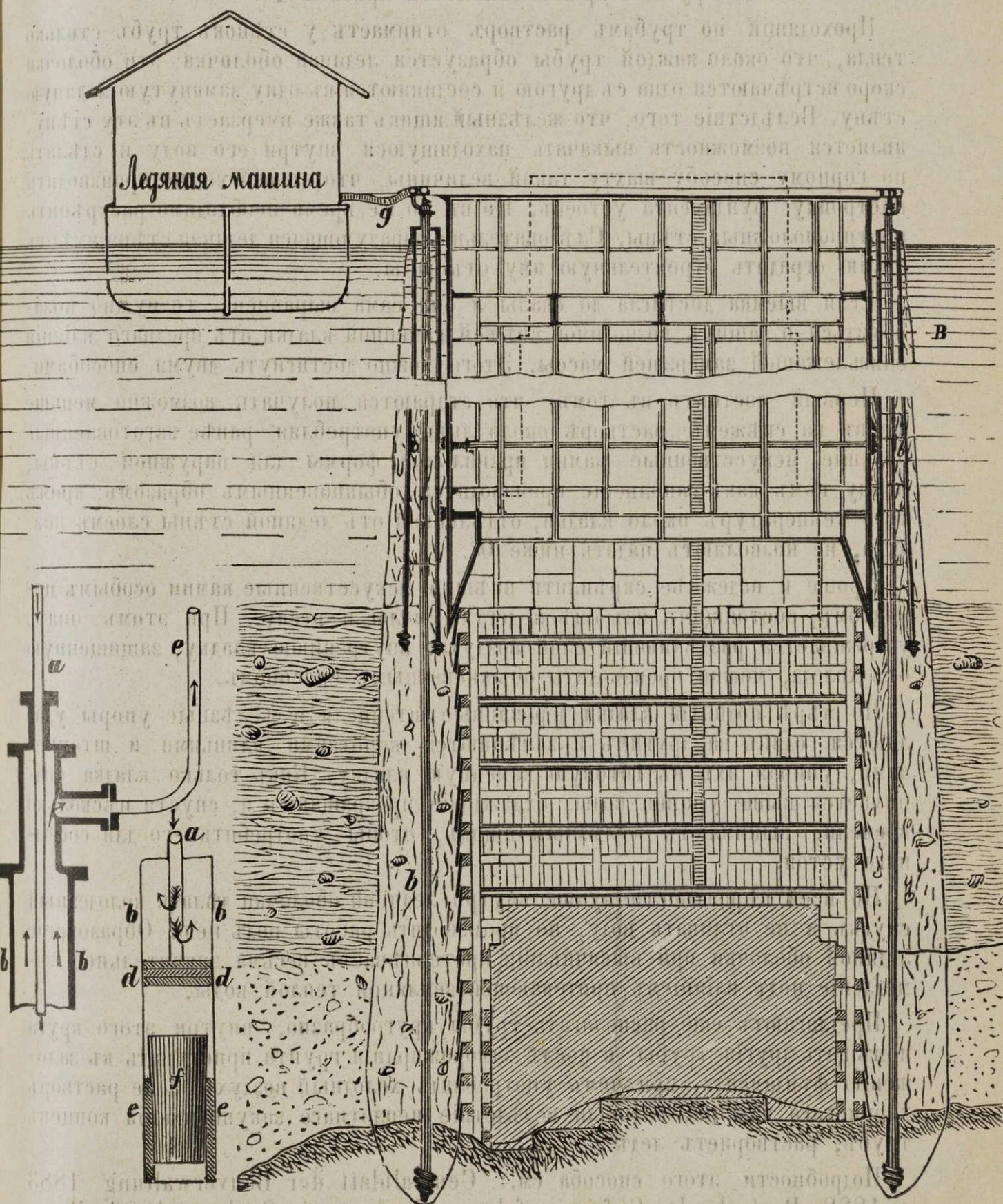
Фиг. 449 изображаетъ разрѣзъ мостового быка пневматическаго способа постройки. Воздушный ящикъ (кессонъ) виситъ на 8 винтахъ на прочныхъ подмостяхъ. Ящикъ сдѣланъ изъ листового желѣза и снабженъ внутренними консолями *h* для поддержанія верхняго края съ кирпичною кладкою. Имѣются 3 колодца: *f*, *g* и *o*. Изъ нихъ *o* служитъ для помѣщенія вертикальной землечерпательницы, которая выбрасываетъ поднятый ею кверху матеріалъ въ желобъ *e*. Два боковые входные колодца *g* суть цилиндрическія трубы діаметромъ около 1 м. Онѣ употребляются не одновременно, но поперемѣнно, чтобъ не дѣлать перерыва въ работѣ при возвышеніи быка, что послѣ нѣкотораго времени совершается равномѣрно. Воздушный шлюзъ *f* имѣетъ 2 клапана *i* и *f*, помощію коихъ возможно сообщеніе съ внутреннимъ пространствомъ; сгущенный воздухъ вводится непосредственно подъ *f*. Рабочіе вырываютъ почву при *l* и бросаютъ ее на средину къ землечерпательницѣ, которая и выноситъ ее внаружу. Опусканіе совершается чрезъ отвинчиваніе гаекъ *a*.

8. Устройство основаній при помощи замораживанія грунта. По способу Пэтша (Poetsch) въ сущности состоитъ въ томъ, что въ земляномъ слоѣ, проводящемъ воду, чрезъ опусканіе въ него трубъ, въ которыхъ ниже точки замерзанія воды циркулируетъ охлажденный щелокъ или воздухъ, образуется замороженная глыба, внутри которой и можно производить выемку грунта.

Хотя до настоящаго времени способъ этотъ примѣнялся только при проведеніи шахтъ въ пловочихъ породахъ, тѣмъ не менѣе онъ особенно пригоденъ при устройствѣ глубокихъ подводныхъ фундаментовъ.

Первый методъ состоитъ въ соединеніи пневматическаго способа со способомъ замораживанія, и именно въ томъ, что послѣ того, какъ прошли на извѣстную глубину въ подпочву по первому способу, примѣняютъ второй и по удаленіи покрышки Кессона въ пространствѣ, окруженномъ замороженными иловыми стѣнками, достигающими водонепроницаемаго слоя, производятъ выкапываніе грунта. Въ настоящее время этотъ способъ претерпѣлъ существенное измѣненіе. По произведеннымъ до настоящаго времени опытамъ морозъ распространяется въ водѣ медленнѣе, чѣмъ въ землѣ, пропитанной ею. Поэтому будетъ практичнѣе только опустить на дно рѣки надлежащимъ образомъ скрѣпленный желѣзный ящикъ, открытый сверху и снизу, а затѣмъ кругомъ ящика вставить сверху замораживающія трубы, которыя подъ водою должны быть обиты деревомъ. Затѣмъ какъ только замороженная стѣна въ видѣ продолженія желѣзнаго ящика достигнетъ водонепроницаемаго слоя, воду изъ вполнѣ огражденной теперь строительной ямы

можно выкачать и приступить къ земляной работѣ. Ледяная кора на частяхъ трубъ, находящихся въ водѣ, будетъ не очень толста. Въ вынимаемый слой песку или ила до непроницаемаго слоя (на глубину нѣсколькихъ метровъ) входитъ нѣсколько трубъ, расположенныхъ вокругъ ящика одна отъ другой на разстояніи около одного метра; по этимъ трубамъ заставляютъ циркулировать растворъ хлористаго кальція, точка замерзанія котораго находится при—40°С., и который предварительно охлаждаютъ при помощи



ф. 451. ф. 450. фиг. 452.

ледяной машины до—20°C. Чтобы теченіе щелока по трубамъ было возможно, онѣ приготовлены двухстѣнныя, такъ что во внѣшнюю, внизу закрытую трубу *bb* шириною въ 200 *mm*, входитъ почти до дна другая труба *aa*, открытая внизу и имѣющая ширину въ 30 *mm* (фиг. 450—452). Растворъ выходитъ изъ нижнихъ боковыхъ отверстій узкой трубы, вступаетъ во внѣшнюю широкую и поднимается въ промежуткѣ между трубами вверхъ, откуда удаляется въ ледяную машину и тамъ снова охлаждается. Нижній конецъ трубы закрытъ свинцовой пробкой *F*.

Проходящій по трубамъ растворъ отнимаетъ у стѣнокъ трубъ столько тепла, что около каждой трубы образуется ледяная оболочка; эти оболочки скоро встрѣчаются одна съ другою и соединяются въ одну замкнутую ледяную стѣну. Вслѣдствіе того, что желѣзный ящикъ также вмерзаетъ въ эту стѣну, является возможность выкачать находящуюся внутри его воду и сдѣлать по горному способу шахту такой величины, что въ ней можно производить постройку фундамента устоевъ. Но въ то же время необходимо раскрѣпить противоположныя стѣны. Слѣдовательно образующаяся ледяная стѣна имѣетъ цѣлію оградить строительную яму отъ воды.

Если выемка достигла до скалы и она сама выравнена, то нужно позаботиться о защитѣ возводимой свѣжей каменной кладки отъ вреднаго вліянія близьлежащей замерзшей массы. Этого можно достигнуть двумя способами.

Первый состоитъ въ томъ, что стараются получать возможно меньше швовъ на свѣжемъ растворѣ около льда, употребляя ранѣе заготовленные большіе искусственные камни правильной формы для наружной стѣны, между тѣмъ какъ заполненіе производится обыкновеннымъ образомъ; кромѣ того температурѣ около кладки, отдѣленной отъ ледяной стѣны слоемъ воздуха, не позволяютъ падать ниже 0°.

Проще и надежнѣе скрѣплять внѣшніе искусственные камни особымъ цементомъ, состоящимъ изъ смѣси дегтя, смолы и песку. При этомъ опять удерживается раздѣляющій слой воздуха; внутреннюю кладку, защищенную отъ холода, можно производить обыкновеннымъ способомъ.

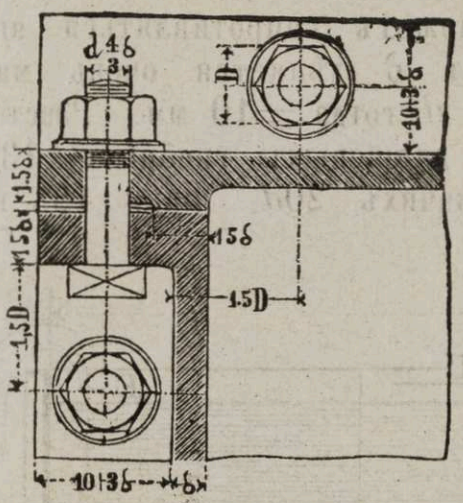
По мѣрѣ поднятія кладки деревянные штемпели и желѣзные упоры удаляются одинъ за другимъ и замѣняются короткими клиньями и штемпелями, упирая ихъ въ готовую каменную кладку. Какъ только кладка поднимается выше уровня воды, охлажденіе прекращаютъ и, спустя нѣсколько времени, вынимаютъ желѣзный ящикъ, чтобы употребить его для сосѣдняго устоя.

По всей вѣроятности лучше внутри ледяной оболочки дѣлать колодезный спускъ и не отливать воду, но производить работы подъ нею. Образованіе ледяной оболочки при выкачиваніи претерпѣваетъ весьма значительное замедленіе подъ вліяніемъ притекающей земляной теплой воды.

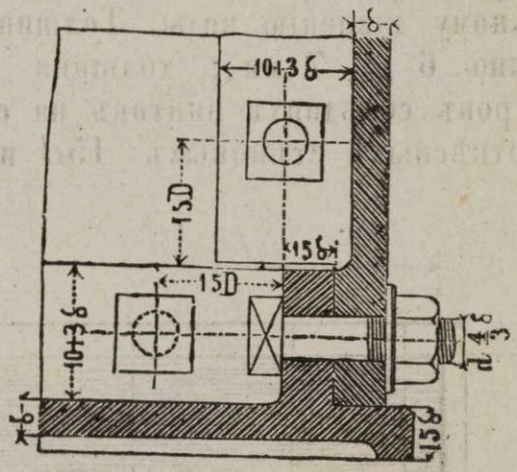
Предлагаютъ еще располагать трубы кругообразно, внутри этого круга помѣщать другія трубы, и послѣ замораживанія грунта приступать къ заложенію фундамента, при чемъ употреблять холодный воздухъ, а не растворъ хлористаго кальція, который вслѣдствіе неплотнаго закупориванія концовъ трубъ, растворяетъ ледъ.

Подробности этого способа см.: Centralblatt der Bauverwaltung 1883 до 1888, Poetsch, das Gefrierverfahren. Freiberg in Sachsen 1886, Brennecke, der Grundbau (Handbuch der Baukunde), Berlin 1887.

126. **Устройство резервуаровъ**: 1) Чугунные резервуары. Плоскостѣнные чугунные бассейны пригодны только для малыхъ количествъ жидкости; для большихъ объемовъ слѣдуетъ брать цилиндрическую форму сосудовъ. Круглые чугунные водохранилища м. б. вполнѣ хорошо сдѣланы объемомъ до 30 куб, м. Относительные размѣры флянцевыхъ соединеній даетъ (фиг. 453 и 454). По толщинѣ стѣнокъ δ опредѣляется



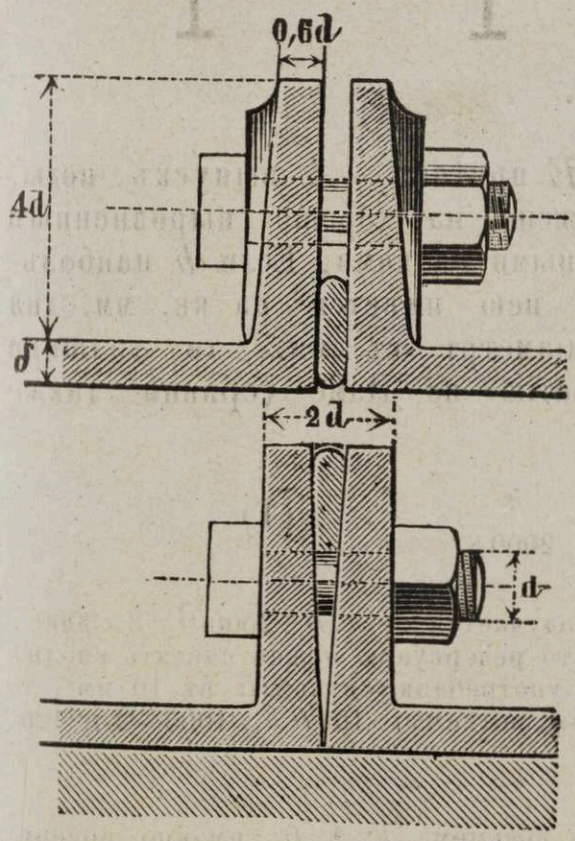
фиг. 453.



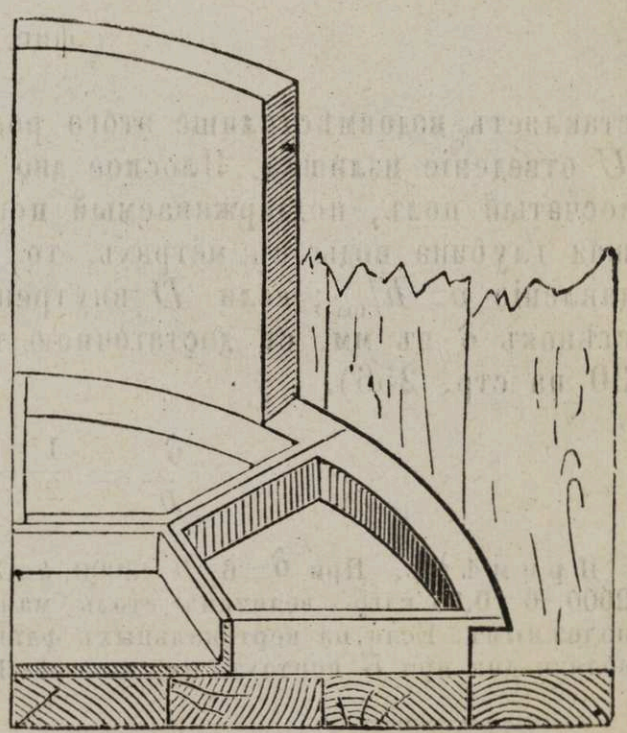
фиг. 454.

діаметръ болтовъ d и прочіе размѣры. Разстояніе между сосѣдними винтами на флянцѣ слѣдуетъ дѣлать=2,5 до 3D. Если для обработки флянцевъ можно примѣнить строгальную машину, то рабочія линейки (фиг. 453) можно уничтожить (фиг. 454). Флянцы, которые свинчиваются одинъ съ другимъ необработанными, представляетъ фиг. 455—456.

фиг. 455.

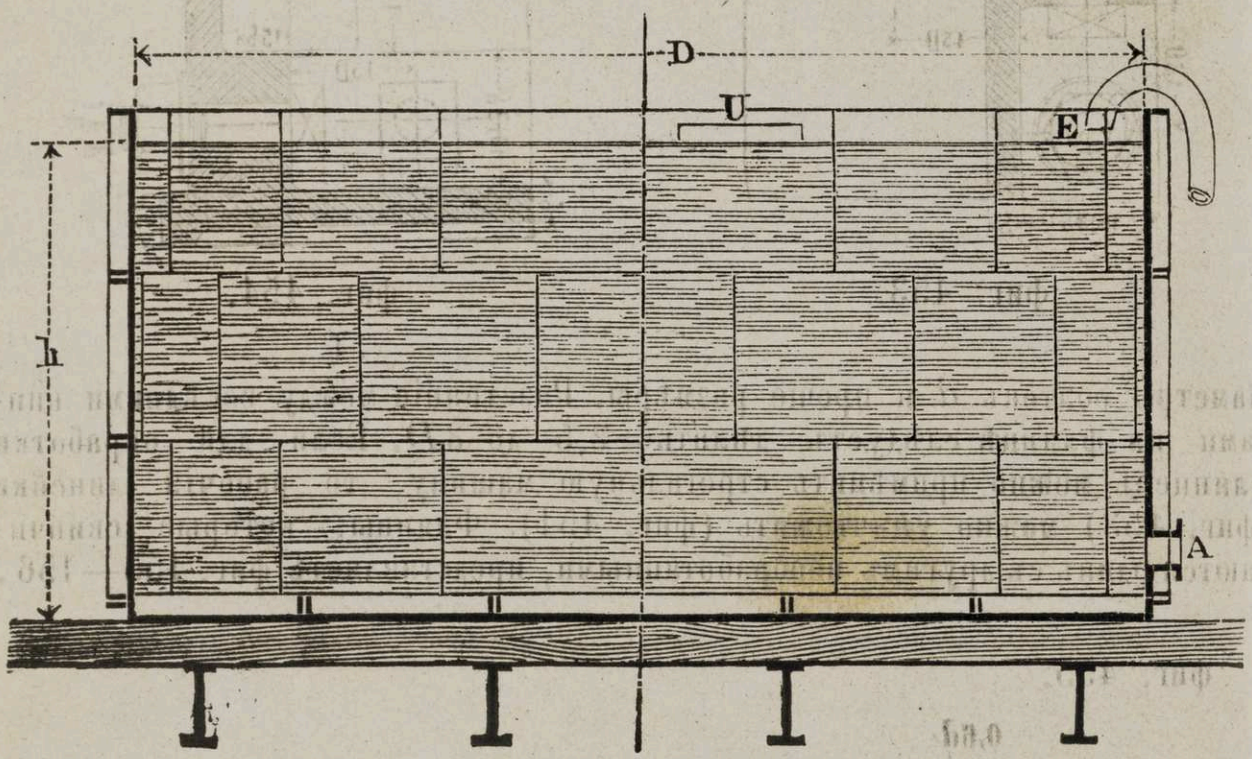


фиг. 456.



фиг. 457.

плоское резиновое кольцо служитъ уплотняющимъ средствомъ. Такіе фланцы употребляются желѣзнымъ заводомъ Гредицъ для весьма тонкостѣнныхъ чугунныхъ сосудовъ. Фиг. 457 изображаетъ соединеніе дна со стѣнками цилиндрическаго водохранителя. Дно имѣетъ внутренніе соединительные фланцы, на краю напротивъ внѣшніе; также фланцы стѣнокъ суть внѣшніе. Чрезъ обращеніе днищевыхъ фланцевъ во внутрь возможно расположить самое дно непосредственно на досчатой настилкѣ и хорошо подпереть его, такъ что дно можетъ сопротивляться значительному давленію воды. Толщина стѣнокъ δ дѣлается очень малая, именно 6 до 7 мм.; толщина винтовъ d тогда $=10$ мм. Разстояніе центровъ сосѣднихъ винтовъ на стоячихъ днищевыхъ гребняхъ $13{,}5d$; на отвѣсныхъ стѣновыхъ $15d$ и на лежачихъ $20d$. Фиг. 458 пред-



фиг. 458.

ставляетъ водовмѣстилище этого рода; E притокъ, A выпускъ воды, U отведеніе излишка. Плоское дно положено на хорошо выровненный досчатый полъ, поддерживаемый поперечными балками. Если h наибольшая глубина воды въ метрахъ, то подъ нею имѣется на кв. мм. дна давленіе $p=h/_{1000}$; если D внутренній діаметръ въ мм., то толщина стѣнокъ δ въ мм. съ достаточною точностію по Ламе (срявни также 30 на стр. 256).

$$\frac{\delta}{D} = \frac{1}{2}\,\frac{p}{S} = \frac{h}{2000\,S} \quad \ldots \quad (1)$$

Примѣръ. При $\delta=6$, $D=3000$, $h=3$ *) получается $S=h.D : 2000.\delta=3 . 3000 : 2000 . 6=0{,}75$ клгр. величина столь малая, что резервуаръ можно считать вполнѣ надежнымъ. Если на вертикальныхъ фланцахъ употребляются винты въ 10 мм., то вблизи дна при π винтахъ на высотѣ 100 мм. имѣемъ: $100D.h : 1000=2.\pi.125$,

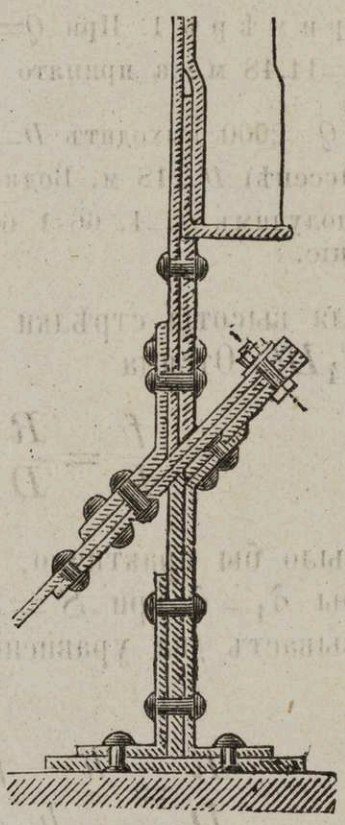
*) Наименьшая поверхность получится, если возьмемъ $h=1/_2 D$; именно поверхность $F=h\pi D+\pi/_4 D^2$ для минимума F даетъ: $-4Q : D^2+\pi/_2 D=0$ и т. д.

ибо 10 миллиметровый винтъ вполнѣ надежно выдерживаетъ 125 клгр. Поэтому число винтовъ $\pi = 100.\ 300.03 : 1000.\ 250 = 3{,}6$; что для разстоянія между центрами винтовъ даетъ $100 : 3{,}6 =$ почти 28 мм. На половинѣ высоты нужно поставить винты вдвое рѣже, такъ что оттуда до верху можно удержать разстояніе 50 мм. Полный объемъ сосуда $= 3.\ 7{,}07 =$ почти 21 куб. м.

Въ резервуарахъ этого рода могутъ быть сберегаемы только такія жидкости, которыя не разъѣдаютъ каучукъ, служащій для уплотненія.

2) Склепанные резервуары. Когда въ резервуарахъ должно запасать большія количества жидкости, то приготовляютъ ихъ изъ желѣза или стали и при этомъ должно прибѣгать къ склепыванію. Для резервуаровъ очень большой емкости плоское дно имѣетъ неудобства. Однако же въ Америкѣ часто строятся огромные желѣзные нефтяные резервуары съ плоскимъ дномъ, которое было положено въ цементной постели, а также и у насъ дѣлаютъ большія водохранилища при соотвѣтственномъ поддержаніи дна. Но оказывается, что выпуклое дно имѣющее выгоду легкой доступности, дозволяетъ сдѣлать все сооруженіе съ меньшимъ расходомъ матеріала.

Очень практична и часто употребляется форма дна въ видѣ висячаго отрѣзка шара, при чемъ резервуаръ своимъ краемъ стоитъ на приклепанномъ кольцѣ, а это послѣднее поддерживается каменною кладкою. Фиг. 459 указываетъ способъ постройки этого кольца, данный профессоромъ Инце. Растяженіе въ косомъ направленіи принимается нижнею половиною поддерживающаго кольца, тогда какъ верхняя половина кольца подпираетъ резервуаръ по вертикальному направленію. Сверхъ того, окружное угловое желѣзо значительно усиливаетъ стѣнку резервуара по горизонтальному направленію.



фиг. 459.

Для расчета шарообразнаго дна служитъ слѣдующее: при радіусѣ R шаровой чашки имѣемъ по стр. 256 (случай 2) $\delta_1 : R = p : 2S_1$, гдѣ δ_1 и S_1 обозначаютъ толщину стѣнокъ и напряженіе, получающееся въ нихъ отъ p. Но самая нижняя точка чашки надавливается всего больше, именно столбомъ жидкости h, и если жидкость имѣетъ удѣльный вѣсъ σ, то $p = h\sigma : 1000$. Поэтому

$$\frac{\delta_1}{R} = \frac{h\sigma}{2000 S_1};\quad \text{для воды} = \frac{h}{2000 S_1} \quad \ldots\ (2).$$

Въ каждой высшей точкѣ чашки давящій столбъ меньше, напр. на краю сосуда на величину стрѣлки f. Но ради простоты дѣлаютъ δ_1 повсюду столь большою, какъ нужно въ самой низкой точкѣ. Для цилиндрическаго корпуса сосуда на краю дна давленіе на единицу площади $p = (h-f)\sigma : 1000$; поэтому по (1) какъ раньше:

$$\frac{\delta}{D} = \frac{(h-f)\sigma}{2000 S},\quad \text{для воды} = \frac{h-f}{2000 S} \quad \ldots\ (3).$$

Чтобы получить хорошіе размѣры, должно принять во вниманіе, что съ уменьшеніемъ h отношеніе $\delta : D$ будетъ меньше, ибо D увеличивается, а въ то же время величина и толщина дна. При подробномъ расчетѣ оказывается, что общая потребность въ строительномъ матеріалѣ будетъ наименьшая если принять

$$D = 1{,}366\sqrt[3]{Q} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

гдѣ Q объемъ жидкости. Для высоты смачиваемой части корпуса должно взять:

$$H + \frac{f}{2} = h - \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

разсматривая шаровую чашку какъ отрѣзокъ параболоида. Самое выгодное отношеніе для расхода матеріала стѣнокъ согласуется съ отношеніемъ для наименьшей поверхности.

Примѣръ 1. При $Q=1200$ по (4) слѣдовало бы взять $D=1366\sqrt[3]{1200}=1{,}366.10{,}6=14{,}48$ м.; а принято (въ точно разсчитанномъ бассейнѣ въ Галлѣ) $D=16$ м. Для $Q=2000$ выходитъ $D=1{,}366\sqrt[3]{2000}=17{,}21$ м.; а было взято (для резервуара въ Эссенѣ) $D=18$ м. Водяная башня въ Нейштасфуртѣ имѣетъ $Q=600$ и $D=12$ м.; мы получимъ $D=1{,}66\sqrt[3]{600}=11{,}52$ м. Во всѣхъ 3 случаяхъ достаточное согласованіе.

Для высоты стрѣлки h дна при данномъ R имѣетъ соотношеніе $2R-f^2=\frac{1}{4}D^2$. Отсюда

$$\frac{f}{D} = \frac{R}{D} - \sqrt{\left(\frac{R}{D}\right)^2 - \frac{1}{4}} \quad \ldots\ldots \quad (6).$$

Было бы практично, хотя не строго необходимо, выбирать R такъ, чтобы $\delta_1=\delta$ при $S'=S'_1$. Но тогда должно выполнить условіе, которое связываетъ два уравненія для δ_1 и для δ. Это условіе

$$\frac{R}{D} = \frac{h-f}{h}, \text{ откуда } \frac{h}{D} = \frac{\frac{f}{D}}{1-\frac{R}{D}} \quad \ldots\ldots \quad (7).$$

Слѣдующіе ряды чиселъ даютъ условія, соотвѣтственно этому выраженію:

$$\frac{R}{D} = 0{,}5\ 0{,}55\ 0{,}60\ 0{,}625\ 0{,}65\ 0{,}70\ 0{,}75\ 0{,}80\ 0{,}85\ 0{,}90\ 0{,}95\ 1{,}00$$

$$\frac{F}{D} = 0{,}5\ 0{,}32\ 0{,}27\ 0{,}25\ \ 0{,}23\ 0{,}21\ 0{,}19\ 0{,}18\ 0{,}16\ 0{,}15\ 0{,}14\ 0{,}134$$

$$\frac{h}{D} = 1{,}0\ 0{,}71\ 0{,}68\ 0{,}67\ \ 0{,}66\ 0{,}70\ 0{,}76\ 0{,}88\ 1{,}07\ 1{,}52\ 2{,}84\ \infty$$

Отсюда видно, что для сохраненіи $\delta_1=\delta$ при $S'=S'_1$ всегда должно брать $R<D$. Потомъ оказывается, что при величинахъ $R : D$ около 0,60

получается наивыгоднѣйшее отношеніе высоты къ діаметру, ибо тогда $h—1/2f$ очень приближается къ $0,5D$, но только приближается. Поэтому оба требованія наименьшаго расхода матеріаловъ и $\delta_1=\delta$ одновременно не вполнѣ выполняются. Хорошіе размѣры получаются при заданіи D по формулѣ 4, округлая его внизъ.

Примѣръ 2. Дано $Q=1500$ куб. м. Сначала мы желаемъ такъ сдѣлать, чтобы получилась наименьшая поверхность. Тогда по (4) должно взять $D=1,366\sqrt[3]{1500}=15,64$ м. и по (5) $h-0,5f=0,5D=7,82$ м., откуда обратно Q получается $=7,82.15,64^2.\pi/4=7,82.192,0=1497,6$ куб. м., т. е. достаточно точно заданный объемъ. Теперь выбираемъ $f=0,21D=0,21.15,64=3,28$ м.; по таблицѣ $R=0,7D=0,7.15,66=10,95$ м. Получаемъ изъ (5) $h=0,5D+0,5f=(0,5+0,105)D=0,605D=9,46$ м. Смачиваемая площадь корпуса получаетъ высоту $H=h-f=(0,605-0,21)D=0,395D=6,18$ м. Теперь при $S=5$ для самой нижней обичайки корпуса

$$\delta=D.H:2000.5=0,395D^2:2000.5$$

и для дна $\delta_1=R.h:2000.5=0,7.0,605D^2:2000.5$

откуда слѣдуетъ $\delta_1:\delta=1,07$, т. е. днищевые листы выходятъ на 7 процентовъ толще самыхъ нижнихъ стѣновыхъ листовъ. Если построимъ стѣнки изъ 7 обичаекъ, шесть шириною въ 1 м. и одну 0,4 м. то для ихъ нижнихъ кромокъ имѣемъ

Высота напора :	6,18	5,18	4,18	3,18	2,18	1,18	0,18 мет.
откуда для δ :	9,67	8,10	6,54	4,97	3,41	1,85	0,28 мм.
мы примемъ :	10,00	8,00	7,00	6,00	6,00	6,00	6,00 мм.

Тоньше 6 мм. листы брать нельзя ради чеканки. Для дна получимъ $\delta_1=1,07.9,67=10,347$ или почти 10,5. Что касается до склепки, то мы могли бы взять обыкновенный котельный шовъ и при $\delta=10$ получимъ толщину заклепки $d=19$ и коеф. прочности $\varphi''=0,47$ при простомъ швѣ; а это даетъ напряженіе $5.10:9,67.0,47=11,11$ клгр., что очень много. Слѣдовательно мы должны взять двойной шовъ покрайней мѣрѣ для двухъ нижнихъ обичаекъ и тогда $\varphi''=0,59$ получимъ напряженіе $=5.10:9,67.0,59=8,76$ клгр. Дно должно клепать также двурядным швомъ.

Примѣръ 3. Дано опять $D=1500$ куб. м. Но теперь мы желаемъ такъ поступить, чтобы $\delta_1=\delta$ и округляемъ вышеполученную величину D внизъ до 15,20 м. Чтобы сохранить δ_1 по возможности $=\delta$, мы беремъ $R:D=0,625$ и вмѣстѣ съ тѣмъ $f=0,25D=3,8$ м. Для h получимъ теперь $h=0,67D=0,67.15,2=10,18$ м.: для $h-0,5f=(0,67-0,125)D=0,554D=8,28$ м. Тогда $Q=8,28.15,2^2.\pi/4=8,28.181,5=1502,8$ куб. м., т. е. соотвѣтствуетъ заданной величинѣ достаточно точно. H будетъ $=h-f=(0,67-0,25)D=0,42D=0,42.15,2=6,38$. Для самой нижней обичайки въ корпусѣ

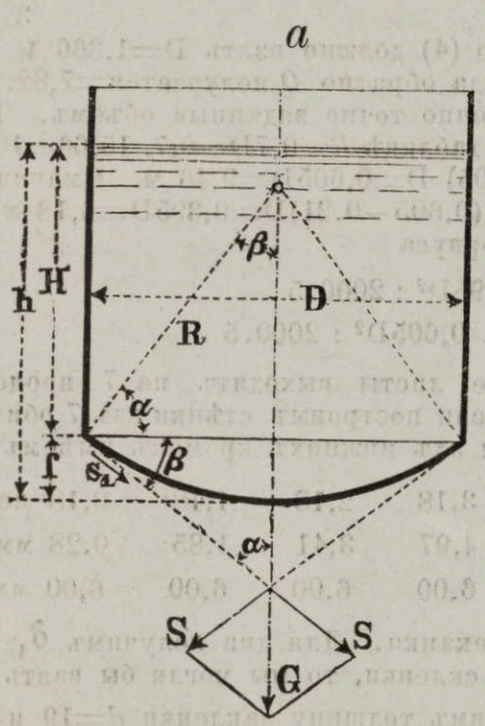
$$\delta=0,42D^2:2000.5.1000=0,42D^2:10000.1000$$

и для дна $\delta_1=0,625.0,67D^2:2000.5.1000=0,42D^2:10000.1000$.

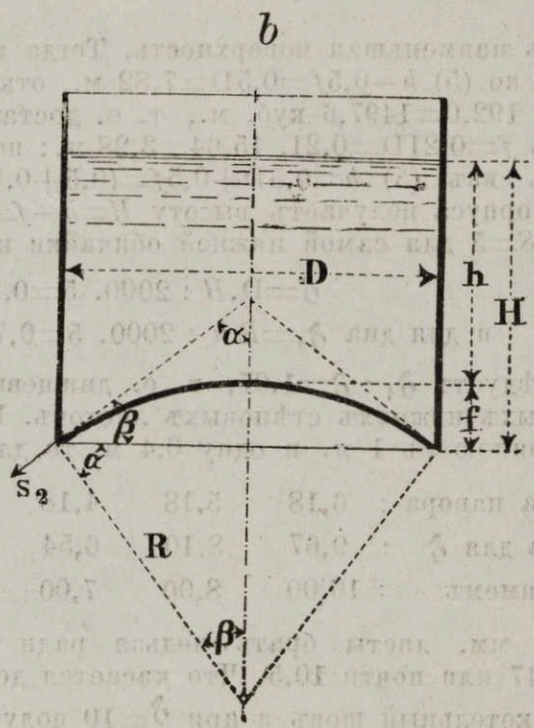
Откуда получается $\delta_1=\delta$ что и требуется. Дѣйствительная толщина листовъ для нижней обичайки $\delta=0,42.15,2^2:10=9,70$, что мы должны увеличить до 10; короче говоря мы получаемъ тѣже самыя толщины листовъ въ корпусѣ, какъ прежде. Весь водоемъ будетъ немножко тяжелѣе, чѣмъ въ предъидущемъ рѣшеніи какъ и должно ожидать; но разница составитъ всего 1 процентъ.

3) Резервуары съ обратнымъ или опорнымъ днемъ. Фиг. 460 и 461 представляетъ обичайку съ шаровой чашкой въ двухъ формахъ: a уже разсмотрѣнное выгнутое внизъ или висячее дно, b вогнутое дно. Послѣднее вслѣдствіе давленія воды сопротивляется на сжатіе, оно подпираетъ воду и потому называется опорнымъ или обратнымъ днемъ. Въ обѣихъ днахъ происходитъ отъ давленія жидкости напряженіе въ кромкахъ по направленію касательной къ шаровой чашкѣ или по направленію круга долготы оной, вслѣдствіе котораго кромка чашки напряжена съ силою s на погонный м. въ случаѣ a во внутрь, въ случаѣ b внаружу по названному направленію. Стараются такъ строить, чтобы эта сила принималась

поддерживающимъ кольцомъ, т. е. не дѣйствовала на цилиндрическій корпусъ. Но во всякомъ случаѣ толщина днищевыхъ листовъ должна быть увеличиваема съ силою s. Затѣмъ въ обоихъ случаяхъ проявляется сила t на погонный м., перпендикулярная къ долготному кругу дна сосуда, которая напрягаетъ чашку по направленію круга широты. Важно знать объ эти силы.



фиг. 460.



фиг. 461.

Разлагаемъ въ случаѣ a вѣсъ G жидкой массы по направленію названной касательной, которая съ осью сосуда составляетъ уголъ α; тогда получимъ двѣ составляющія силы $S=G:2cos\alpha$, изъ коихъ каждая распредѣляется на половину окружности кромки, слѣдовательно вызываетъ въ немъ на погонный м. нагрузку $s_1=S:\pi/_2 D$. Вводя для G его величину $\gamma\,\pi/_4 D^2(h-f)+\pi/_6(3/_4 D^2+f^2)]$ гдѣ γ вѣсъ куб. м. литра получимъ:

$$s_1=\gamma\frac{R}{2}\left[h-\frac{f}{2}+2/_3 f\left(\frac{f}{D}\right)^2\right]$$

Сдѣлавъ тоже самое изслѣдованіе для случая b, при чемъ h обозначаетъ разстояніе уровня отъ вершины шаровой чашки получимъ

$$s_2=\gamma\frac{R}{2}\left[h+\frac{f}{2}-2/_3 f\left(\frac{f}{D}\right)^2\right]$$

Послѣдній членъ въ скобкахъ въ обоихъ случаяхъ получается весьма малъ. Имъ можно пренебречь и тогда шароваго дна въ обоихъ случаяхъ

$$s=\gamma\frac{R}{2}\left(h\mp\frac{f}{2}\right)\ldots\ldots\ldots(8).$$

Для t_1 и t_2 получимъ также для обоихъ случаевъ:

$$t=\gamma R(h\mp f)-s=\gamma\frac{R}{2}(h\mp 3/_2 f)\ldots(9).$$

Опредѣлимъ еще третью силу u, дѣйствующую въ шаровой чашкѣ на кромкѣ по направленію большаго круга, перпендикулярнаго къ плоскости рисунка, считая также на погонный м.; тогда

$$u=\gamma\frac{R}{2}(h\mp f) \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

и наконецъ для вершинной точки, гдѣ силу въ наибольшемъ кругѣ можно назвать u_0

$$u_0=\gamma\frac{R}{2}h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11).$$

Нѣкоторое упрощеніе получается чрезъ введеніе высоты H смачиваемой части цилиндрической стѣнки при чемъ $h=H\mp f$. Тогда

$$\left.\begin{aligned} s&=\gamma\frac{R}{2}\left(H\pm\frac{f}{2}\right); \qquad t=\gamma\frac{R}{2}\left(H\mp\frac{f}{2}\right)\\ u&=\gamma\frac{R}{2}H \qquad\quad ; \qquad u_0=\gamma\frac{R}{2}\left(H\pm\frac{f}{2}\right)\end{aligned}\right\} \quad \ldots (12).$$

Отсюда 1) при висячемъ днѣ u_0 имѣетъ наибольшую величину, т. е. чашку надо расчитывать по напряженію въ самомъ глубокомъ мѣстѣ, если δ_1 должно быть постоянное; 2) при опорномъ днѣ t имѣетъ наибольшую величину, и потому служитъ для расчета δ_1; 3) s даетъ напряженіе поддерживающаго кольца, если оно должно удерживать цилиндрическую стѣнку совершенно свободною отъ нагрузки вслѣдствіе формы дна.

Расчетъ δ_1 дѣлается вполнѣ также, какъ выше. Раздѣливъ выраженіе для u^0 и для t на 1000, получимъ напряженіе на погонный мм., т. е. величину $S_1\delta_1$ и если сдѣлать $\gamma=1000\sigma$ и R выразить въ мм., то для висячаго дна

$$\frac{\delta_1}{R}=\frac{h'\sigma}{2000S_1}=\sigma\frac{H+f}{2000S_1} \quad \ldots\ldots (13)$$

и для опорнаго дна

$$\frac{\delta_1}{R}=\frac{h'\sigma}{2000S_1}=\sigma\frac{H+0{,}5f}{2000S_1} \quad \ldots (14).$$

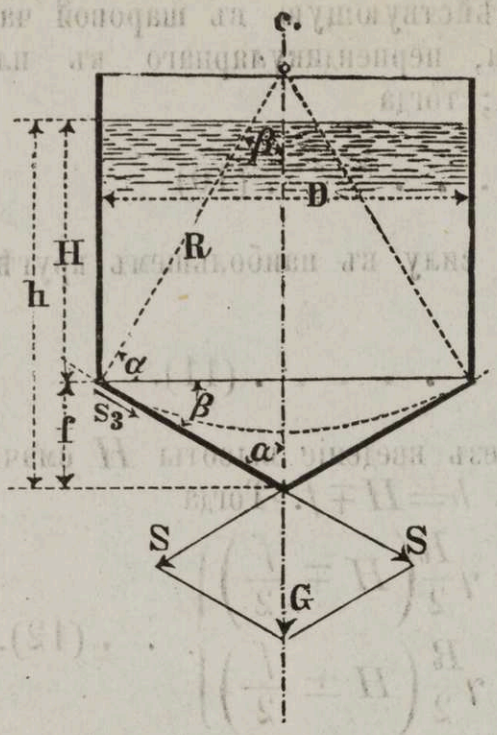
Если дно сдѣлано коническое, загнутое внаружу или во внутрь (фиг. 462 и 463), при высотѣ конуса h, то для вѣса жидкой массы имѣемъ: $G=\gamma(\pi/_4DH\pm{}^1/_3f\pi/_4D^2)$ и отсюда, сдѣлавъ разложеніе силы G по направленію образующихъ конуса $S'=\pi/_2Ds=G:2cos\alpha$; тогда

$$s=\gamma\frac{\pi}{4}D^2\frac{2}{\pi D2cos\alpha}\left(H\pm\frac{f}{3}\right)=\gamma\frac{1}{2}\frac{D}{2cos\alpha}\left(H\pm\frac{f}{3}\right)$$

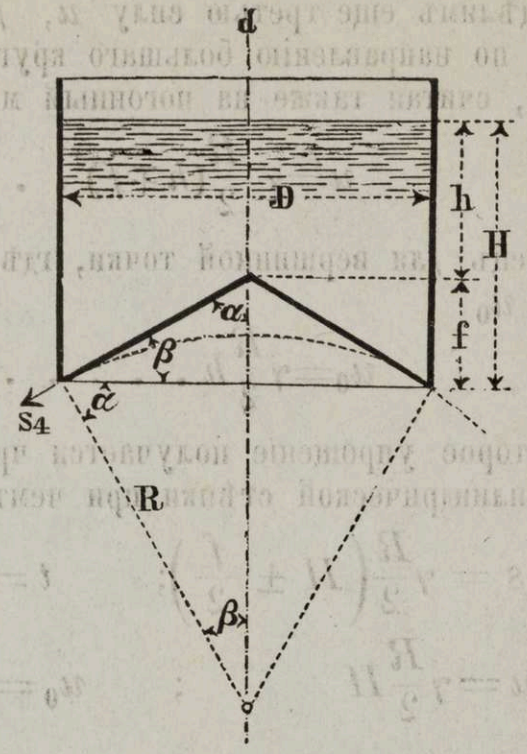
Но ${}^1/_2D:cos\alpha=$ радіусу R шара касательнаго къ коническому корпусу на его кромкѣ внутри; поэтому

$$s=\gamma\frac{R}{2}\left(H\pm\frac{f}{3}\right) \quad \ldots\ldots (15).$$

Для напряженія t въ параллельномъ кругѣ получается таже самая величина какъ для напряженія u въ большомъ кругѣ касательнаго шара, такъ что имѣемъ



фиг. 462.



фиг. 463.

$$t = u = \gamma \frac{R}{2} H \quad \ldots \ldots (16).$$

Поэтому при висячемъ коническомъ днѣ изъ трехъ силъ наибольшую величину получаетъ сила s, при опорномъ днѣ $t=u$ наибольшая, такъ что мы принимаемъ при висячемъ днѣ

$$\frac{\delta_1}{R} = \sigma \frac{H + {}^1/_3 f}{2000 S_1} \quad \ldots \ldots \ldots (17)$$

и при опорномъ

$$\frac{\delta}{R} = \frac{\sigma H}{2000 S_1} \quad \ldots \ldots (18).$$

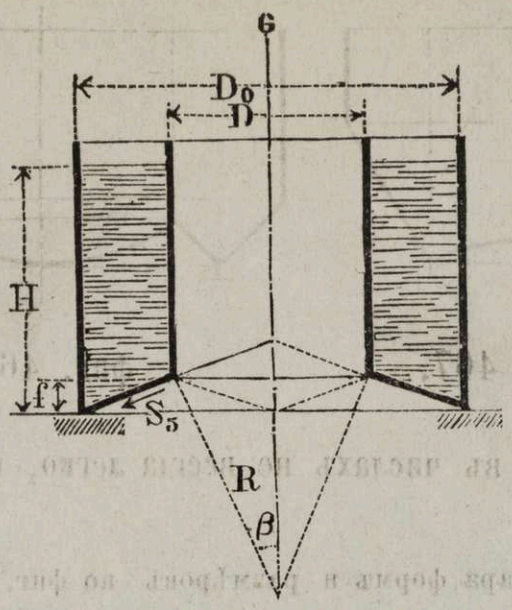
Коническое дно требуетъ матеріала на 40% болѣе, нежели шарообразное.

Вмѣсто остраго коническаго дна употребляется также усѣченное, напримѣръ при сооруженіи резервуаровъ изъ двухъ цилиндрическихъ корпусовъ, соединенныхъ внизу кольцеобразнымъ дномъ (фиг. 464 и 465). Это дно можно сдѣлать либо опорное либо висячее. Здѣсь оно показано только опорное. Если ищемъ напряженія подобно предъидущему, то прежде всего имѣемъ при обозначеніяхъ на фигурахъ для случая e: $G = \gamma f \pi/_4 (D_0^2 - D^2) H - \gamma f \pi/_4 (D_0 - D)(D + {}^1/_3 (D_0 - D))$ и для случая f: $G = \gamma \pi/_4 (D^2 - D^2) H - \gamma f \pi/_4 (D_0 - D)(D + {}^2/_3 (D - D))$ и получимъ для случая e:

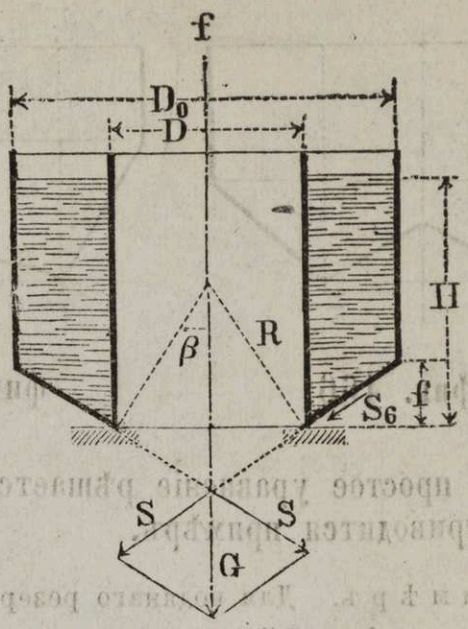
$$s_5 = \gamma \frac{R}{2} \left\{ \left[\left(\frac{D_0}{D} \right)^2 - 1 \right] H - \frac{f}{3} \left[\left(\frac{D_0}{D} \right)^2 + \frac{D_0}{D} - 2 \right] \right\} \quad \ldots (19)$$

и для случая f

$$s_6 = \gamma \frac{R}{2} \frac{D}{D_0} \left\{ \left[\left(\frac{D_0}{D} \right)^2 - 1 \right] H - \frac{f}{3} \left[2 \left(\frac{D_0}{D} \right)^2 - \frac{D_0}{D} - 1 \right] \right\} . (20)$$



фиг. 464.



фиг. 465.

причемъ R всегда обозначаетъ радіусъ шара, касательнаго къ конусу въ мѣстѣ усѣкновенія. Силы t и u опредѣляются изъ прежнихъ формулъ.

Къ примѣненіямъ коническаго усѣченнаго дна мы сейчасъ обратимся. Для σ имѣемъ при водѣ 1 и потомъ

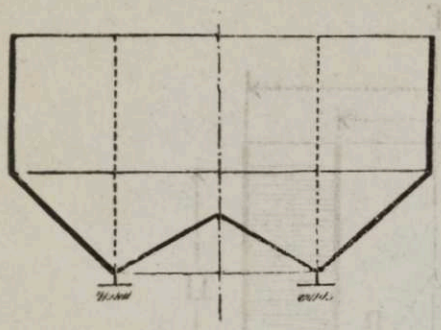
для нефти (петролаума) . . . 0,80	для глицерина 1,260
» льнянаго масла, при 12° Ц. 0,94	» пива при 0° Ц. 1,028
» сѣрнистаго углерода при 0° Ц. 1,27	» спирта абсол. при 20° Ц. 0,792

На свойства сохраняемыхъ жидкостей слѣдуетъ обратить серьезное вниманіе. Такъ при спиртѣ т. е. водномъ алкоголѣ, нельзя употребить никакого другаго способа уплотненія, кромѣ чеканенія швовъ; всякая прокладка, примѣняемая при тонкихъ листахъ, напримѣръ въ газгольдерахъ, растворяется спиртомъ.

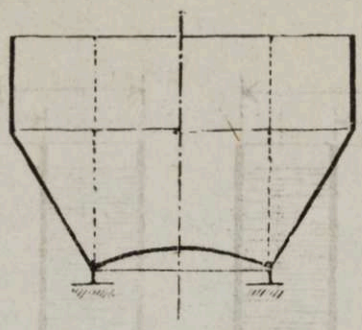
4) Составныя формы резервуаровъ. Въ описанныхъ резервуарахъ сила $s\cos\alpha$, перпендикулярная къ оси сосуда, стремится либо раздвинуть части подкладочнаго кольца одну отъ другой или сжать ихъ, смотря по тому какой предстоитъ случай a, c, e или b, d, f. Этимъ обстоятельствомъ можно, по предложенію профессора Инце, воспользоваться весьма удачно если чрезъ присоедененіе дна съ противоположными поперечными силами привести послѣднія въ равновѣсіе, а чрезъ это можно подкладное кольцо вполнѣ разгрузить отъ дѣйствія радіальныхъ силъ. Это можно выполнить различными способами, напримѣръ черезъ составленіе резервуара изъ двухъ по типу d и f (см. фиг. 466) или чрезъ соединеніе типовъ e и b (какъ на фиг. 467b) или изъ 3 формъ сосудовъ, какъ изображено въ фиг. 468 c и т. д. при чемъ вертикальныя внутреннія стѣнки можно выбросить. Нарисованные способы постройки представляютъ еще гораздо большую выгоду въ томъ, что подкладное кольцо можетъ получить небольшой діаметръ, такъ что поддерживающее каменное тѣло получаетъ умѣренную величину.

При составленіи днищевъ для освобожденія кольца отъ поперечныхъ силъ должно выполнить условіе

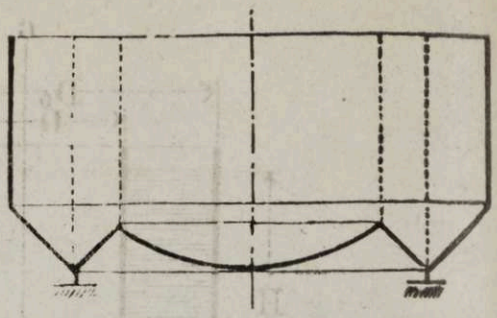
$$s'\sin\alpha' - s''\sin\alpha'' = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21).$$



фиг. 466.



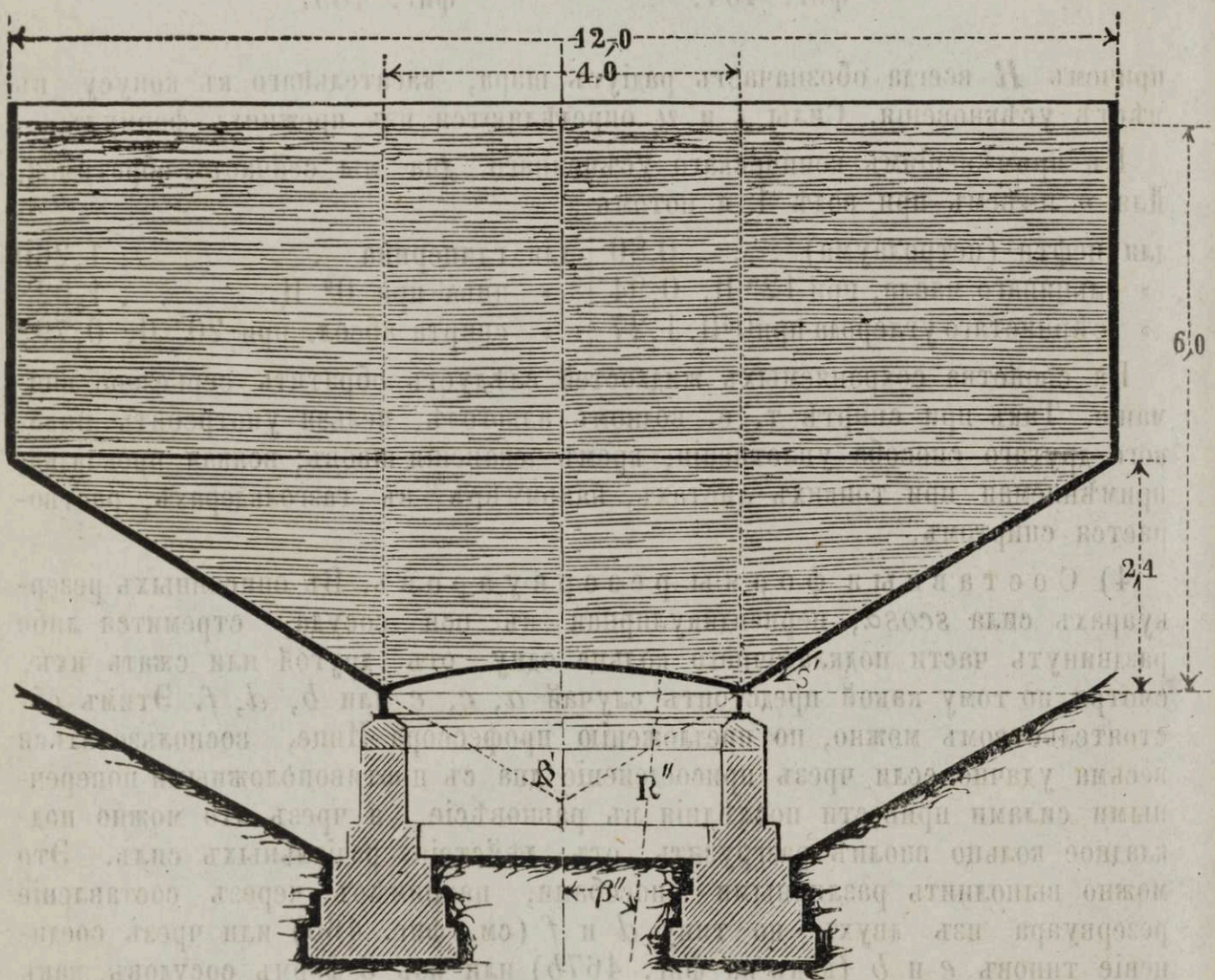
фиг. 467.



фиг. 468.

Это простое уравненіе рѣшается въ числахъ не всегда легко, вслѣдствіе чего приводится примѣръ.

Примѣръ. Для водянаго резервуара формъ и размѣровъ по фиг. 469 нужно отыскать радіусъ R'' шарообразнаго опорнаго дна. Первый членъ уравненія отно-



фиг. 469.

сится къ внѣшней, второй къ внутренней части резервуара. Поэтому для перваго члена годится для S' формула (19), въ которой $D_0=12, D=4, H=6, f=2{,}4$; откуда $tg\alpha'=4:2{,}4=1{,}669$ почти $tg59^0$. Для него синусъ $=0{,}8572$; косинусъ $=0{,}5150$; слѣдовательно $R'=0\,5D:sin\alpha'=2:0{,}515=3{,}883$ и теперь $S'sin\alpha'=0{,}8572\gamma\,.\,0{,}5D(R':D_0)\{[(D_0:D)^2-1]H-\frac{1}{3}f[2(D_0:D)^2-(D_0-D)-1]\}=0{,}8572(\gamma\,.\,0{,}5D)(3{,}883;12)(8.6-0{,}8\,.\,14=(\gamma.0{,}5D)0{,}8572.0{,}323(48-11{,}2)=$

$=(\gamma.0{,}5D)0{,}2769.36{,}8=10{,}19(\gamma.0{,}5D)$. Для второго члена мы получаемъ по формулѣ (12) $S''sin\alpha''=sin\alpha''\gamma 0{,}5R''(H-0{,}5f'')$, гдѣ кромѣ R'' неизвѣстно еще α''; поэтому мы введемъ β'' и имѣемъ $S''sin\alpha''=\gamma cos\beta''R''(3-0{,}25R''(1-cos\beta''))$. Вставивъ это въ условное уравненіе получимъ:

$$10{,}19\,.\,0{,}5D\gamma-cos\beta''R''(3-0{,}25R''(1-cos\beta''))\gamma=0.$$

Но $0{,}5D:R''=sin\beta''$; отсюда $tg\beta''-\dfrac{3-0{,}25R''(1-cos\beta'')}{10{,}19}=0.$

Первую приблизительную величину для β'' мы получимъ, если второе слагаемое второго члена сначала пренебрежемъ. Тогда $tg\beta''=3:10{,}19=0{,}2954=tg16^{0}25'$. Правильная величина должна быть нѣсколько меньше. Беремъ $\beta=16^{0}20'$; то тангенсъ $=0{,}2930$; синусъ $=0{,}2812$; косинусъ $=0{,}9596$. Это доставляетъ $R''=0{,}5D:sin\beta''=2:0{,}2812=7{,}11$ м. какъ нанесено на фигурѣ. Вмѣстѣ съ тѣмъ

$$10{,}19.0{,}2930-(3-0{,}25.7{,}11\,.\,0{,}0404)\text{ почти }0.$$

При вычисленіи получается $2{,}986=2{,}928=0{,}058$

такъ какъ $\gamma=1000$, то величина $1000\,.\,0{,}058=58$ клгр. будетъ остаточное давленіе на погонный м. подкладнаго кольца, которымъ можно вполнѣ пренебрегать.

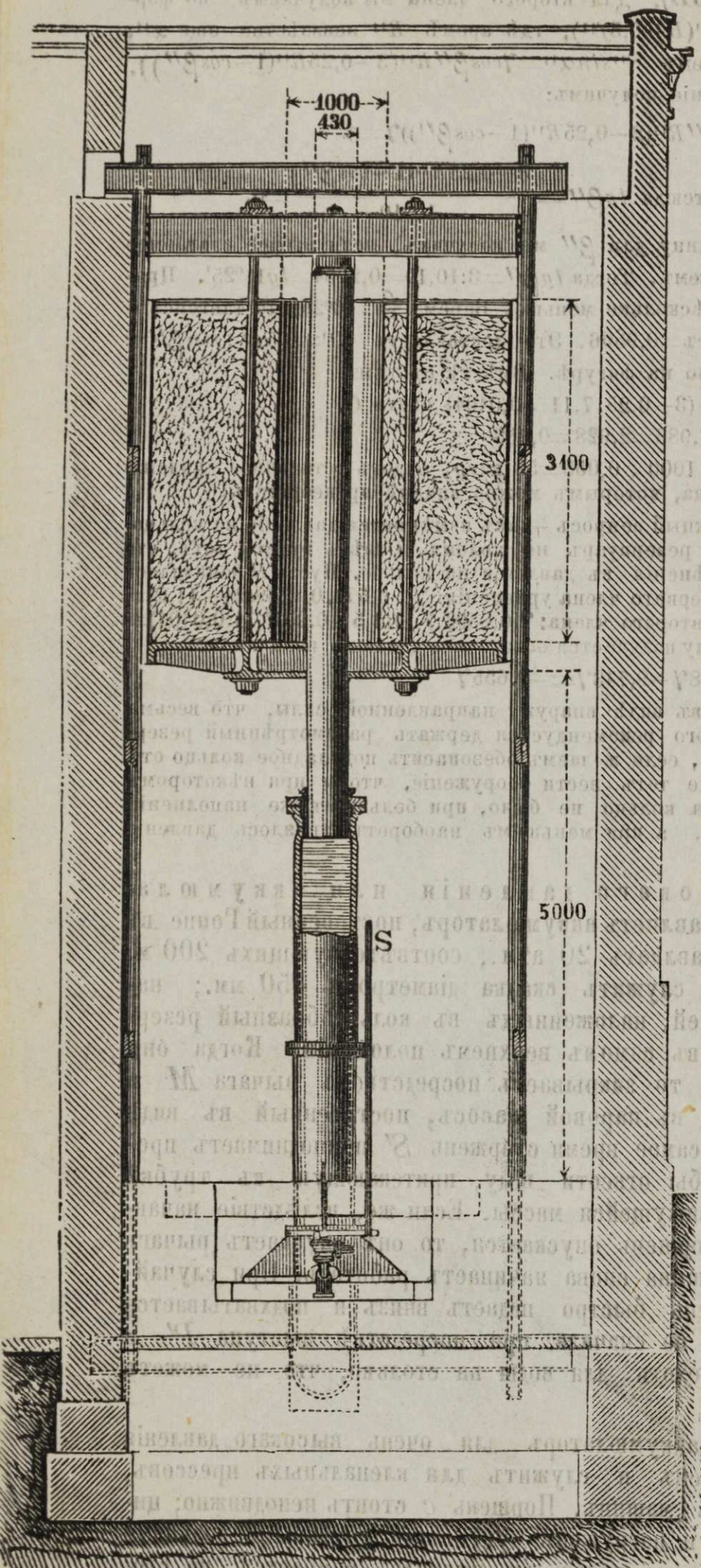
Представляется еще весьма важный вопросъ — какъ измѣняется давленіе на кольцо когда H измѣняется, т. е. если резервуаръ не полонъ. Отвѣтъ будетъ тотъ, что тогда неизбѣжно появляются измѣненія въ давленіи на кольцо. Пусть H понизились до 3 м. Тогда мы получаемъ для перваго члена уравненія: $\gamma\,.\,0{,}5D.0{,}2769(24-11{,}2)=\gamma.2\;0{,}2769.\;12{,}8=7{,}088\gamma$ и для втораго члена: $\gamma.0{,}9596.7\;11(1{,}5-0{,}25.7{,}11.0{,}0404)=6{,}823\,.\,1{,}428\gamma=9{,}743\gamma$. Поэтому получается остаточное давленіе величиною:

$$7{,}088\gamma-9{,}743\gamma=-2{,}655\gamma$$

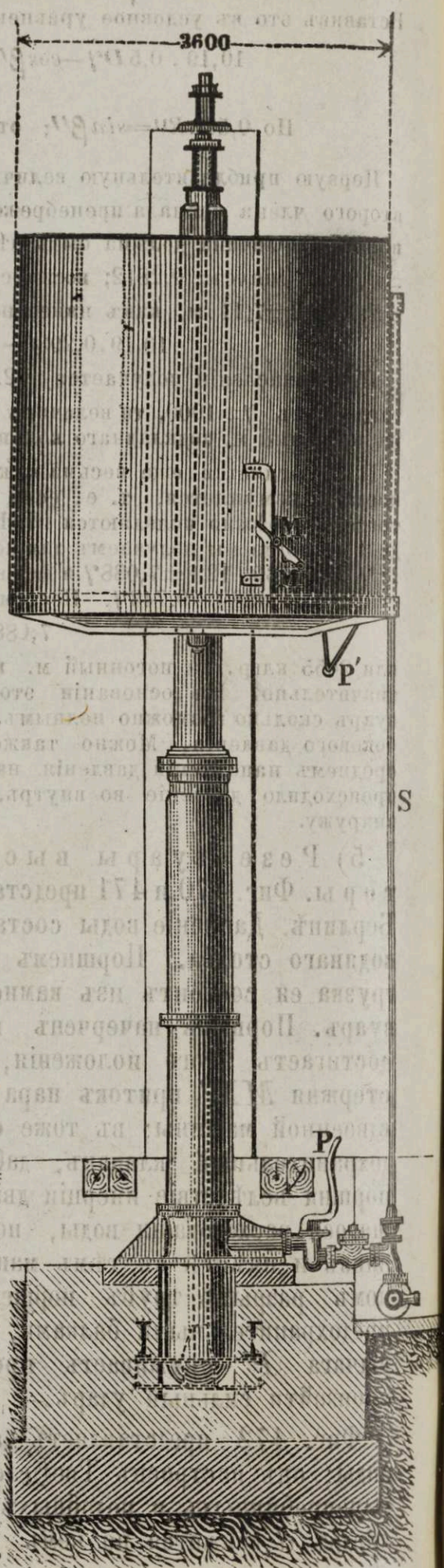
или 2655 клгр. на погонный м. въ видѣ внаружу направленной силы, что весьма значительно. На основаніи этого рекомендуется держать разсмотрѣнный резервуаръ сколько возможно полнымъ, если желаемъ обезопасить подкладное кольцо отъ бокового давленія. Можно также тотъ вести сооруженіе, чтобы при нѣкоторомъ среднемъ наполненіи давленія на кольцо не было, при большемъ же наполненіи происходило давленіе во внутрь, а при меньшемъ наоборотъ являлось давленіе внаружу.

5) Резервуары высокаго давленія или аккумуляторы. Фиг. 470 и 471 представляетъ аккумуляторъ, построенный Гоппе въ Берлинѣ. Давленіе воды составляетъ 20 атм., соотвѣтствующихъ 200 м. водянаго столба. Поршнемъ служитъ скалка діаметромъ 450 мм.; нагрузка ея состоитъ изъ камней, наложенныхъ въ кольцеобразный резервуаръ. Поршень начерченъ въ самомъ верхнемъ положеніи. Когда онъ достигаетъ этого положенія, то закрываетъ посредствомъ рычага M и стержня MM' притокъ пара въ паровой насосъ, построенный въ видѣ сдвоенной машины; въ тоже самое время стержень S' приподнимаетъ предохранительный клапанъ, дабы отвести воду, притекающую къ трубкѣ поршня вслѣдствіе инерціи движущейся массы. Если же, вслѣдствіе начавшагося расходованія воды, поршень опускается, то онъ опускаетъ рычагъ внизъ и вмѣстѣ съ тѣмъ машина снова начинаетъ работать. При случайномъ разрывѣ трубъ поршень быстро падаетъ внизъ и подхватывается предохранительными балками, но сначала при посредствѣ выступа P' и рычага P' съуживаетъ проходъ для воды на столько, что не можетъ произойти сильный ударъ.

Фиг. 472 представляетъ аккумуляторъ для очень высокаго давленія воды; онъ построенъ Тведделемъ и служитъ для клепальныхъ прессовъ, дыропробивныхъ и подобныхъ машинъ. Поршень c стоитъ неподвижно; цилиндръ d движется по немъ и нагруженъ чугунными грузовыми кольцами d_1; при своемъ самомъ низкомъ положеніи цилиндръ опирается на сто-



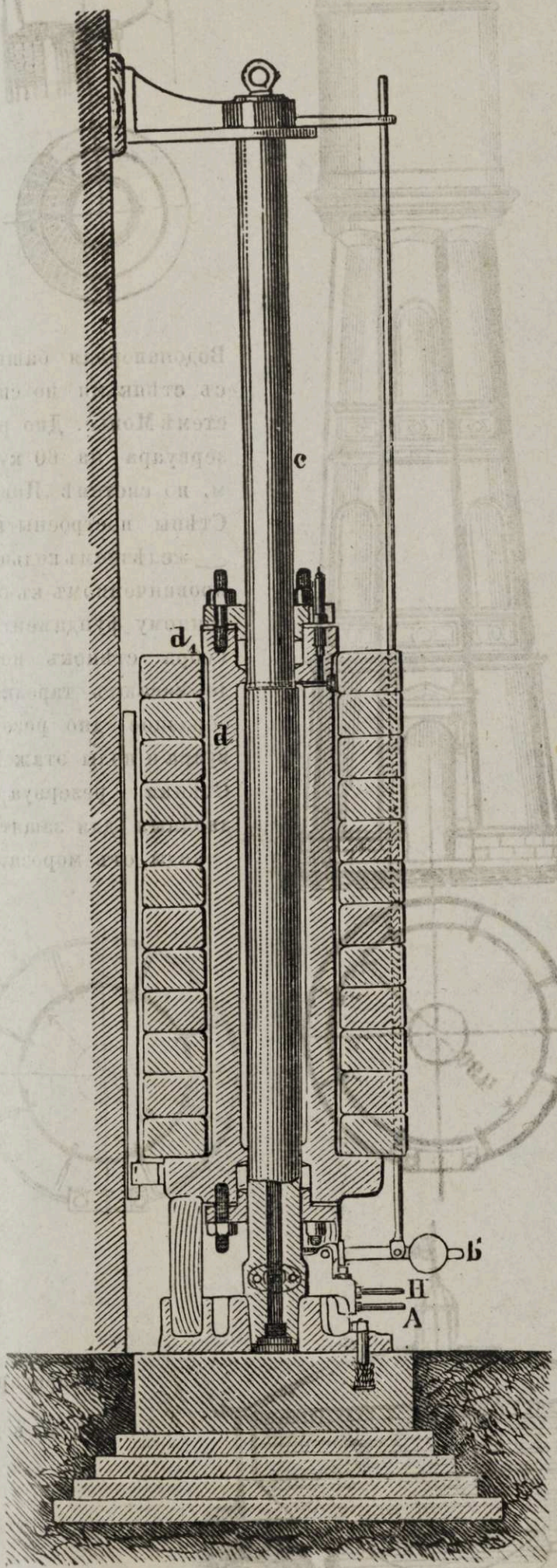
фиг. 470.



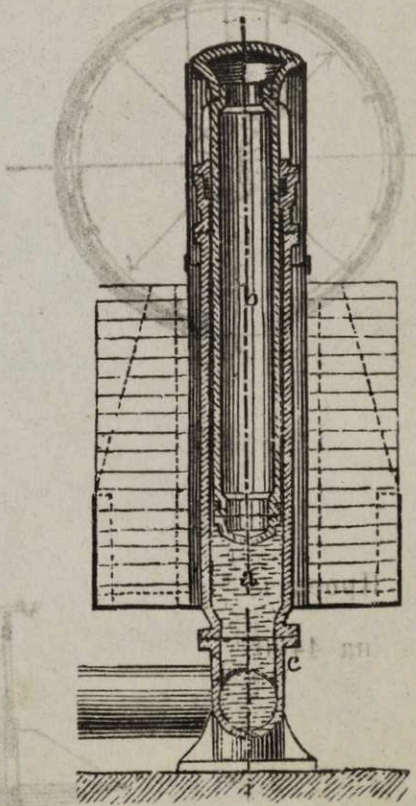
фиг. 471.

ячія дубовыя буферныя балки. Вода высокаго давленія входитъ при H, отработавшая вода при A; b' предохранительный клапанъ. Поршень принадлежитъ къ тому разряду, который называютъ дифференціальнымъ;собственно онъ представляетъ скальчатый поршень съ весьма толстымъ стержнемъ, такъ что кольцеобразное пространство наполняемое водою, получаетъ очень небольшое. Уменьшеніе этого пространства посредствомъ стержня поршня здѣсь возведено въ основное правило. Напряженіе, которое бываетъ въ этомъ аккумюлаторѣ, при спокойно стоящемъ цилиндрѣ составляетъ 100 атм.; но по сдѣланнымъ опытамъ оно увеличивается при быстромъ опусканіи до 193 атм., откуда слѣдуетъ, что при такихъ аккумюлаторахъ должно вводить въ вычисленіе статическое давленіе воды около въ два раза большее, нежели ожидаемое давленіе.

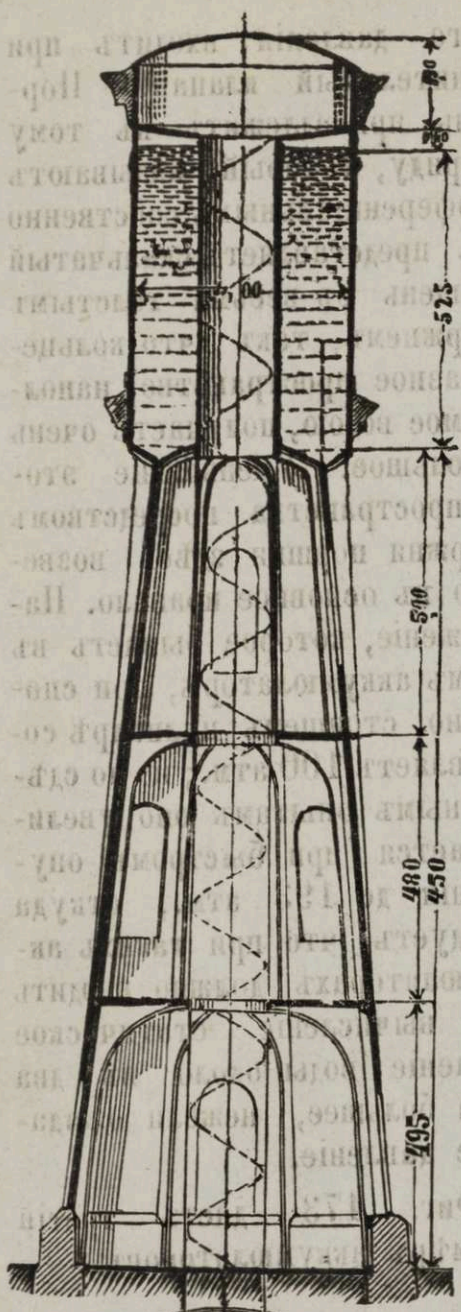
Фиг. 473 даетъ третій примѣръ аккумюлаторовъ.

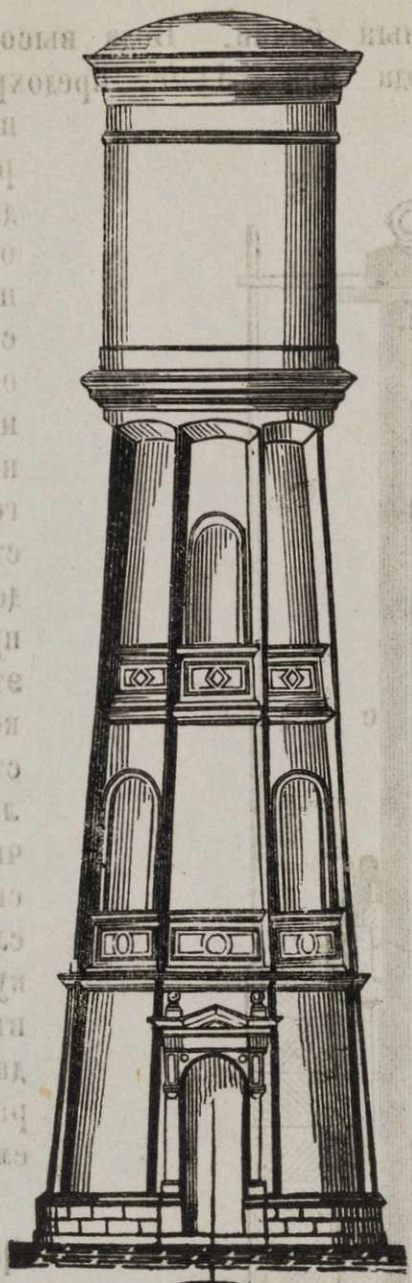


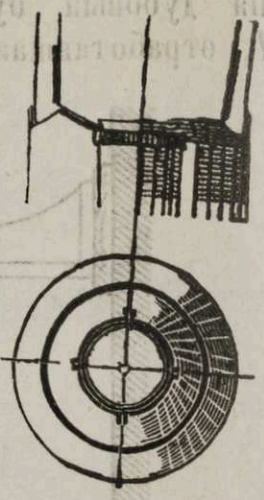
фиг. 472



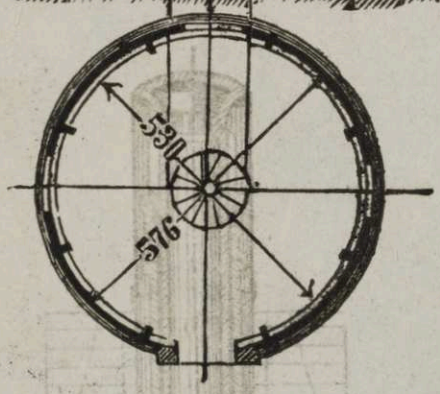
фиг. 473.



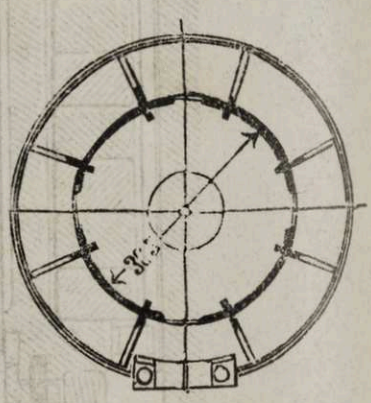


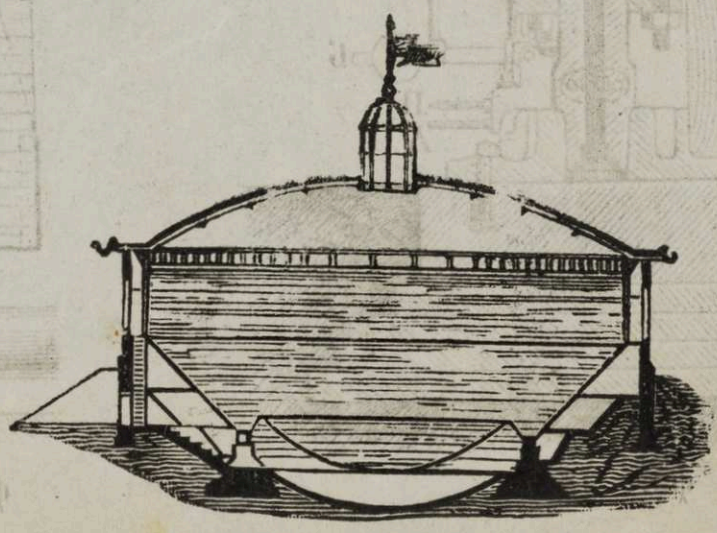


Водонапорная башня съ стѣнками по системѣ Монье. Дно резервуара на 60 куб. м. по системѣ Инце. Стѣны построены на ⌣ желѣзномъ кольцѣ, провинченномъ къ бетонному фундаменту. Ребра стѣнокъ поддерживаютъ тарелкообразное дно резервуара и полы этажей. Стѣнки резервуара двойныя для защиты воды отъ мороза.









Проектъ резервуара на 4400 куб. м. воды.

B. Механика упругихъ жидкостей.

I. Аэростатика

или ученіе о разновѣсіи газообразныхъ тѣлъ.

127. Основные законы аэростатики суть тѣ же самые, что и законы гидростатики; напр. законъ о давленіи жидкости отъ ея собственнаго вѣса; законъ распространенія наружнаго давленія; законъ сообщающихся сосудовъ и тотъ удѣльный вѣсъ, который для капельножидкихъ тѣлъ приблизительно постояненъ, для газовъ же существенно зависитъ отъ ихъ удѣльнаго давленія и температуры.

Въ настоящее время уже не существуетъ *) постоянныхъ газовъ потому что опыты Пикте и Кальете доказали, что всѣ газы при болѣе или менѣе сильномъ давленіи и очень низкой температурѣ могутъ быть обращены въ капельножидкое состояніе. Можно только различать совершенные газы, которые находятся въ состояніи далекомъ отъ ихъ точки сгущенія и такіе, которые къ ней близки (пары). Главнымъ представителемъ совершенныхъ газовъ служитъ атмосферный воздухъ.

128. Свойства упругихъ жидкостей. Упругія жидкости называются также газами. Ихъ частицы имѣютъ постоянное стремленіе удалиться одна отъ другой, вслѣдствіе этого если газъ находится въ сосудѣ, закрытомъ со всѣхъ сторонъ, то это стремленіе есть причина давленія газа на стѣнки сосуда. Сила, съ которою газъ давитъ на окружающія стѣнки, называется упругостью газа. Проще всего упругость выражается въ вѣсовыхъ единицахъ на единицу площади. Если бы въ сосудѣ въ какомъ либо мѣстѣ его поверхности находилась бы трубка и въ ней поршень и на него стали бы производить давленіе, большее давленія газа въ сосудѣ, приведеннаго къ единицѣ поверхности, тогда это давленіе не только передавалось бы газомъ во всѣ стороны, но еще газъ при этомъ сжимался бы; наоборотъ если давленіе газа на поршень больше наружнаго, тогда газъ расширяется. Если же упругость газа равна наружному давленію, тогда существуетъ равновѣсіе, т. е. газъ не будетъ ни сжиматься, ни расширяться.

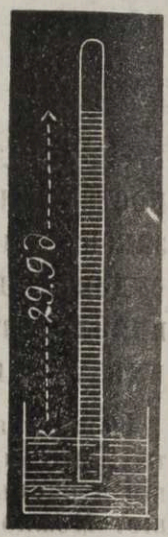
129. Объ атмосферномъ давленіи и объ измѣреніи его. Атмосфернымъ давленіемъ называется то давленіе, которое производитъ окружающій насъ воздухъ на всякое тѣло, съ коимъ онъ соприкасается. На основаніи параграфа 93, давленіе, производимое атмосферою *) на плоскую поверхность въ какой нибудь точкѣ ея массы, происходитъ отъ вѣса столба воздуха, имѣющаго основаніемъ данную поверхность и простирающагося отъ разсматриваемой точки вверхъ до послѣднихъ предѣловъ атмосферы. Это давленіе одинаково по всѣмъ направленіямъ вокругъ каждой точки.

Если въ стеклянную трубку длиною 80 до 85 сантиметровъ, запаянную съ одного конца, налить ртути и потомъ, обернувши, погрузить

*) Термодинамика. Лекціи профессора Ѳ. Е. Орлова въ Императорскомъ Техническомъ училищѣ, читанная въ 1889 г.

*) Атмосфера есть та газообразная масса, въ средѣ которой мы живемъ. Она имѣетъ форму шарообразнаго слоя обнимающаго землю толщиною почти 48 километровъ. Далѣе находится пустое планетное пространство. Газъ, изъ котораго состоитъ атмосфера, называется воздухомъ.

открытый конецъ ея въ сосудъ со ртутью же, то ртуть не выльется изъ трубки вся, а остановится на высотѣ 76 сантиметровъ (или 29,9 анг. дюйма) отъ горизонта, уравновѣсивъ собою по закону сообщающихся сосудовъ давленіе воздуха на поверхность ртути въ сосудѣ. Этотъ опытъ называется опытомъ Торичелли, а самый приборъ называется барометромъ. Высота ртути въ трубкѣ называется высотою стоянія барометра. Стало быть высота стоянія барометра есть мѣра давленія воздуха (фиг. 474).



фиг. 474.

Когда сѣченіе трубки равно одному квадратному сантиметру (дюйму), то вѣсъ столба ртути въ 76 сантиметровъ будетъ 13,6.76.1 = 1033 грамма (вѣсъ столба ртути въ 29,9 д. будетъ 0,544.29,9.1=16,26 рус. фунта). И такъ давленіе атмосферы на 1 квадратный сантиметръ равно 1033 грамма или 1,033 килограмма (или 16,26 рус. фунт.=14,7 анг. ф. на кв. д.). Если въ предъидущемъ опытѣ замѣнить ртуть водою, то вѣсъ водянаго цилиндра между двумя уровнями жидкости въ трубкѣ и въ сосудѣ будетъ также измѣрять атмосферное давленіе, только высота водянаго цилиндра будетъ 0,76.13,6=10,33 метра (или 29,9.13,6 = 406,34 д.=33,86 фута).

Атмосферное давленіе измѣняется съ перемѣною погоды и съ высотою мѣстности надъ уровнемъ моря. Въ мѣстахъ близкихъ къ уровню моря ртутный столбъ колеблется въ довольно узкихъ предѣлахъ около высоты 0,76 м. Слѣдов. среднее атмосферное давленіе въ этомъ уровнѣ равно 1,033 килогр. на кв. сантиметръ при высотѣ

надъ моремъ въ	0 м.;	100 м.;	200 м.;	300 м.;	400 м.;	500 м.
высота ртутнаго столба.	760мм.;	750,5мм.;	741,2мм,;	732мм:;	722,9мм.;	713,2мм.

130. Различные способы обозначенія давленій. Въ практической механикѣ слово атмосфера употребляется для обозначенія давленія, равнаго среднему атмосферному давленію на поверхности земли, т. е. равнаго 1,033 килограммамъ на квадр. сантиметръ. Такъ что атмосфера составляетъ особую единицу при помощи коей можно выражать давленіе какой нибудь жидкости, главнымъ образомъ пара. Поэтому давленіе въ $1^1/_2$ атмосферы, въ 2 атмосферы и т. д. должно понимать давленіе на квадр. сантим. въ $1^1/_2$.1,033 кил.= 1,549 кил.; въ 2.1,033 кил.=2,066 кил. и т. д. Если говорятъ, что паровозъ работалъ при 9 атмосферахъ, то это значитъ, что давленіе пара на каждый квадр. сантиметръ его котла равнялось 1,033.9=9,297 килограмма.

Во всѣхъ вопросахъ гидравлики удобно выражать давленіе жидкостей въ метрахъ водянаго столба, т. е. за единицу принимается величина давленія, которое производитъ столбъ воды высотою въ 1 метръ на его основаніе.

1 атмосфера соотвѣтствуетъ 1,033 килограммамъ на кв. см., 76 см. ртути и 10,33 метрамъ воды.

Примѣръ 1. Какое число x атмосферъ равняется давленію 1,40 кил. на кв. см.?

$x : 1{,}40 = 1 : 1{,}033$; откуда $x = 1.1{,}40 : 1{,}033 = 1{,}355$ атм.

Примѣръ 2. Какое число x килограммовъ на кв. см. соотвѣтствуетъ давленію 1,355 атм.?

$x : 1{,}355 = 1{,}033 : 1$; откуда $x = 1{,}033.1{,}355 : 1 = 1{,}40$ кил.

Примѣръ 3. Какое число x метровъ воды соотвѣтствуетъ 1,355 атм.?

$x : 1{,}355 = 10{,}33 : 1$; откуда $x = 10{,}33.1{,}355 : 1 = 14{,}0$ метр.

Примѣръ 4. Какое число x килограммовъ на кв. см. представляетъ давленіе во 103 метра воды?

$x : 103 = 1{,}033 : 10{,}33$; откуда $x = 1{,}033.103 : 10{,}33 = 10{,}3$ килогр.

Примѣчаніе. При подъемѣ воды на высоту 103 метровъ, т. е. около 48 саженъ, давленіе на нижнія трубы насоснаго столба равно 10 атм. Въ Англіи и въ Россіи, употребляются также три способа для обозначенія давленія жидкостей: 1) въ фунтахъ на квадр. дюймъ; 2) въ атмосферахъ; 3) въ дюймахъ ртути.

Англійская атмосфера представляетъ давленіе 15 англійскихъ фунтовъ на квадр. дюймъ. Она въ точности соотвѣтствуетъ вѣсу ртутнаго столба въ 30 дюймовъ или въ 77,5 сантиметра; слѣдовательно каждый фунтъ давленія соотвѣтствуетъ 2 дюймамъ ртути.

Если считать 6,4513 кв. см. въ кв. дюймѣ и 0,45341 кил. въ фунтѣ, то найдемъ, что англійская атмосфера равновелика давленію 1,056*) кил. на кв. см., т. е. они нѣсколько больше метрической атмосферы. Но эта разница не имѣетъ значенія въ практикѣ и въ круглыхъ числахъ можно считать, что

во Франціи 1 атм. = 1.033 кил. на кв. см. = 76 см. ртути = 10,33 м. воды
въ Англіи 1 атм. = 15 анг. фунт. на кв. дюйм = 30 дюйм. ртути = 34,00 фут. воды
въ Россіи 1 атм. = 16,25 рус. фунт, на кв. дюйм. = 29,9 дюйм. ртути = 33,86 фут. воды.

Примѣръ 1. Сколько атмосферъ выдерживаетъ гидравлическій прессъ, когда онъ производитъ давленіе равное 200000 килогр. при діаметрѣ поршня въ 24 сантиметра?

Площадь поршня . . . . . = 45240 кв. см.
Давленіе на каждый квадр. сантиметръ поршня . = 200000:452,40 = 442,1 килогр.
Число атмосферъ . . . . . = 4421,:1,033 = 428.

Примѣръ 2. Требуется поднять воду на высоту 70 м. Какъ велико давленіе воды въ трубахъ, выраженное въ атмосферахъ?

Раздѣлимъ весь трубопроводъ на части по 10,33 м. высотою по вертикальному направленію; тогда давленіе въ нижнемъ концѣ верхней части = 1 атм.; въ нижнемъ концѣ второй части сверху = 2 атм. и въ самомъ низкомъ мѣстѣ трубопроводъ 70:10,33 = 6,78 атмосферъ.

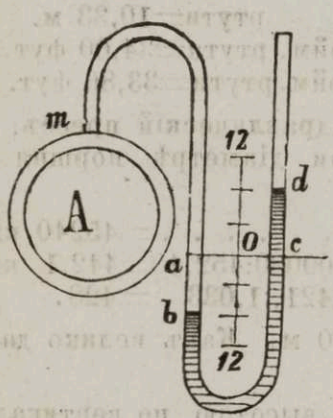
131. Манометры. Давленіе газовъ и паровъ измѣряется помощію инструментовъ, которыя называются манометрами. Обыкновенно они показываютъ избыточное давленіе, т. е. даютъ возможность узнать на сколько клгр. на 1 к. см. (или фунтовъ на 1 кв. д.) измѣряемое давленіе газа или пара больше одной атмосферы,

---

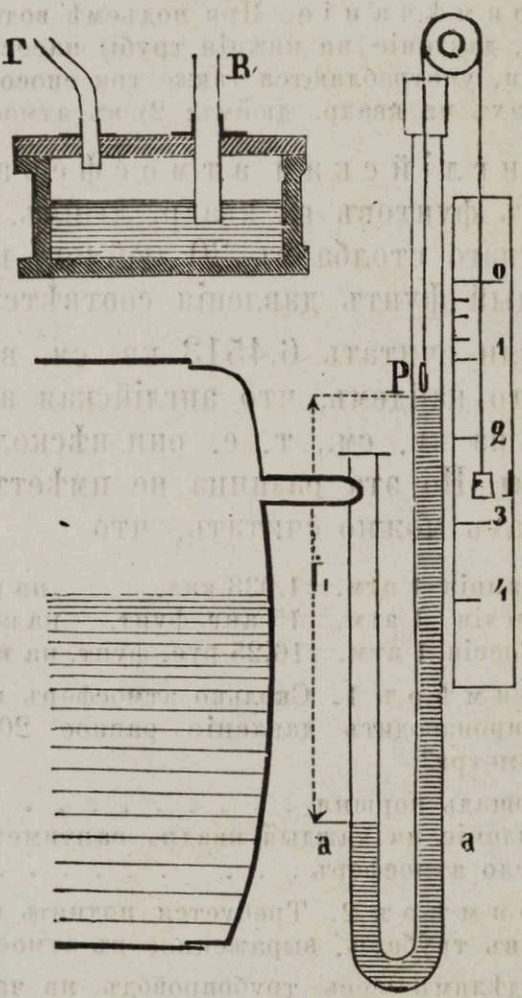
*) Фунт. на 1 кв. д.	1	5	10	14	15	20	25	29	30
Клгр. на 1 кв. с.	0,0703	0,353	0,703	0,985	1,056	1,408	1,760	2,04	2,111
Фунт. на 1 кв. д.	35	40	43	50	57	64	72	79	86
Клгр. на 1 кв. см.	2,465	2,815	3,026	3,519	4,011	4,504	5,068	5,560	6,053
Фунт. на 1 кв. д.	93	100	113	128	142	—	—	—	—
Клгр. на 1 кв. с.	6,545	7,038	8,0	9,0	10,0	—	—	—	—

а) Манометръ съ жидкостью. Пусть A (фиг. 475) сосудъ съ газомъ. Присаживаютъ на сосудъ трубку формы mbd и наполняемъ ее водою такъ, чтобы уровень воды въ обоихъ колѣнахъ находился на одной горизонтальной линіи ac, что будетъ тогда, когда давленіе газа въ сосудѣ равно давленію наружнаго воздуха. Если же давленіе газа въ сосудѣ увеличится, то вода въ одномъ колѣнѣ трубки понизится на ab, а въ другомъ поднимется на равную величину cd, если только трубки цилиндрическія и имѣютъ одинаковый діаметръ внутри. Вслѣдствіе этого избыточное давленіе газа надъ давленіемъ наружнаго воздуха будетъ измѣряться вертикальнымъ водянымъ столбомъ $bd=2.ab$.

Между обоими колѣнами трубки помѣщается масштабъ, нулевая точка котораго лежитъ въ ac, а дѣленія коего помѣщены сверху и снизу O. Этотъ масштабъ можно передвигать вертикально, смотря по количеству имѣющейся въ ней воды.



фиг. 475.



фиг. 476—477.

Другая форма сифонообразнаго манометра для болѣе высокаго давленія, есть изогнутая желѣзная труба, въ которую налита ртуть. Одинъ конецъ трубки (фиг. 477) съ краномъ сообщается съ паровикомъ, другой въ два раза длиннѣе, оканчивается чашечкою; назначеніе чашечки удерживать ртуть, когда ее случайно выброситъ паромъ. Столбъ высотою L удерживаетъ въ равновѣсіи давленіе печи или газа.

Вверху помѣщается небольшой блокъ; чрезъ него перекинутъ шнурокъ. Къ одному концу шнурка, находящемуся въ трубкѣ привязанъ желѣзный поплавокъ въ $^1/_4$ дюйм. діаметромъ и 3 дюйм. длиною; къ другому, находящемуся на виду, прикрѣплена показательная стрѣлка. Когда давленія въ паровикѣ нѣтъ, или правильнѣе сказать, когда оно равносильно атмосферному, ртуть въ обоихъ колѣнахъ стоитъ на одномъ горизонтѣ, а стрѣлка должна показывать на циферблатѣ O.

Изгибъ желѣзной трубки производитъ то, что при увеличеніи давленія въ паровикѣ, пониженіе стрѣлки равняется только половинѣ разности горизонтовъ ртути въ колѣнахъ манометра, а такъ какъ давленіе атмосферы уравновѣшивается столбомъ ртути, высотою въ 29,92, русскихъ дюйма, или почти 30 дюйм., то ясно что числа 1, 2, 3, 4 и т. д. на циферблатѣ, находящіяся другъ отъ друга въ разстояніи весьма близкомъ къ 15 дюйм., будутъ соотвѣтствовать давленію пара въ 1, 2, 3, 4 атмосферы сверхъ воздушнаго; или 16 $^1/_4$, 32$^1/_2$, 48$^3/_4$ и т. д. фунтамъ на квадратный дюймъ.

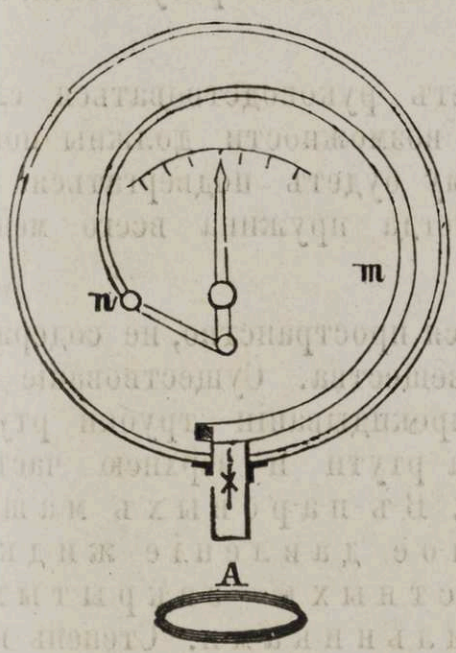
Главное дѣленіе всѣхъ родовъ манометровъ, употребляемыхъ въ практикѣ, непремѣнно на атмосферы, и затѣмъ дѣлятъ ихъ на 15 частей, ибо при такомъ давленіи каждый градусъ почти соотвѣтствуетъ одному англійскому фунту давленія на кв. дюймъ.

Для машинъ низкаго давленія манометры дѣлаются короче, примѣрно фута два длиною и блока съ шнуркомъ не имѣютъ, ибо поплавкомъ служитъ простая деревянная палочка вставленная въ длинное колѣно.

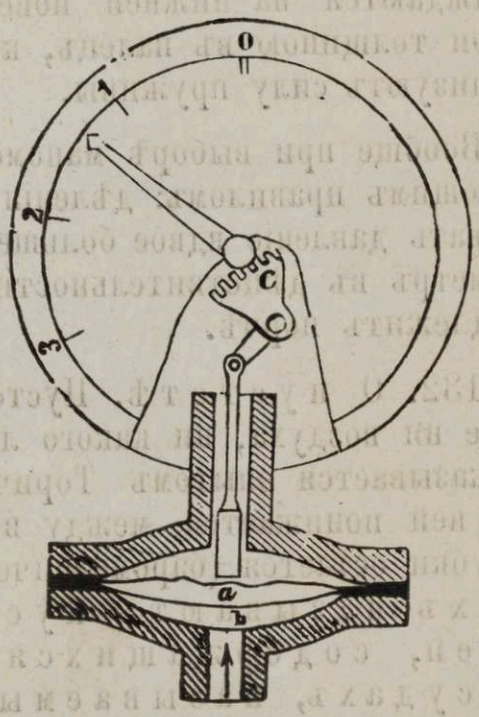
Въ манометрѣ съ сосудомъ, фиг. 476, газъ или паръ давитъ посредствомъ трубочки r на поверхность S ртути и поднимаетъ ее вверхъ по трубкѣ R.

Для машинъ высокаго давленія теперь очень часто употребляютъ манометры металлическіе съ циферблатами. Лучшіе изъ нихъ Бурдона.

b) Металлическіе манометры. Манометръ Бурдона, фиг. 478—479 состоитъ изъ плоской металлической трубочки m, согнутой спи-



фиг. 478—479.



фиг. 480.

рально; сѣченіе трубочки овальное (A). Если жидкость вошла въ эту трубочку и если давленіе жидкости увеличилось, то поперечное сѣченіе A трубки измѣняется, а вслѣдствіе этого и спиральная форма оной. Конецъ n спирали дѣйствуетъ на стрѣлку, которая и указываетъ давленіе. Въ манометрѣ Шефера и Буденберга, фиг. 480, жидкость дѣйствуетъ на

волнообразную стальную пластинку *a*. Если давленіе измѣняется, то измѣняется и форма пластинки, а вмѣстѣ съ тѣмъ и положеніе стрѣлки. Помощію колесной передачи *c* вращеніе стрѣлки дѣлается болѣе замѣтнымъ. Каучуковый кружокъ *b* снизу стальной пластинки предохраняетъ ее отъ ржавленія дѣйствіемъ воды.

Манометры для измѣренія давленій, которые меньше атмосфернаго давленія называются вакуум-метрами (измѣрителями пустоты).

Наконецъ для измѣренія давленія, но еще болѣе для установленія крайняго предѣла, который давленіе не должно превышать, служатъ вентили (предохранительные клапаны).

c) Объ установкѣ манометровъ. Неправильная установка манометра влечетъ за собой весьма скорую порчу пружины и почти всегда бываетъ причиной невѣрныхъ показаній этого аппарата. Во всякомъ случаѣ нужно избѣгать придѣлывать манометръ непосредственно къ паровику; слѣдуетъ соединить его съ пространствомъ, наполненнымъ паромъ, посредствомъ изогнутой трубочки, ибо высокая температура бываетъ причиной измѣненія силы пружины и имѣетъ вредное вліяніе на механизмъ, отдѣльныя части котораго расширяются и не могутъ вслѣдствіе этого свободно дѣйствовать. Манометръ всегда подвергается чрезмѣрному нагрѣванію, когда онъ прикасается къ стѣнкамъ паровика или когда горячій паръ поступаетъ въ него непосредственно.

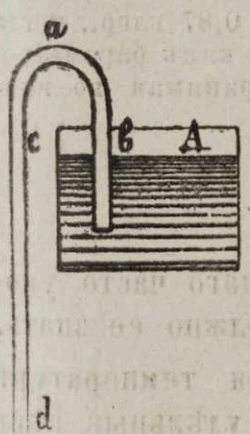
Также не слѣдуетъ придѣлывать манометръ къ паровику слишкомъ низко, такъ какъ въ такомъ случаѣ нечистоты, находящіяся въ водѣ, осаждаются на нижней поверхности пружины и образуютъ нерѣдко слои толщиною въ палецъ, которые, какъ само собою разумѣется, парализуютъ силу пружины.

Вообще при выборѣ манометровъ слѣдуетъ руководствоваться слѣдующимъ правиломъ: дѣленія на шкалѣ по возможности должны показывать давленіе вдвое больше того, которому будетъ подвергаться манометръ въ дѣйствительности, такъ какъ тогда пружина всего менѣе подлежитъ порчѣ.

132. О пустотѣ. Пустотою называется пространство, не содержащее ни воздуха, ни какого либо другаго вещества. Существованіе ея доказывается опытомъ Торичелли. При опрокидываніи трубки ртуть въ ней понижается; между верхомъ столба ртути и верхнею частію трубки остается (барометрическая) пустота. Въ паровыхъ машинахъ называютъ пустотою малое давленіе жидкостей, содержащихся въ извѣстныхъ закрытыхъ сосудахъ, называемыхъ холодильниками. Степень пустоты указывается вакуметромъ (пустотомѣромъ); дѣленія на этомъ приборѣ, сходномъ по устройству съ манометромъ Бурдона, выражены въ дюймахъ ртутнаго столба и представляютъ разность между (перемѣннымъ) наружнымъ давленіемъ атмосферы и внутреннимъ давленіемъ холодильника. Пусть послѣднее = 4 дюйм., а барометръ показываетъ 30,5 дюйм., тогда вакуметръ покажетъ 30,5—4=26,5 д.; когда барометръ стоитъ на 29,5 д. показаніе вакуметра будетъ 29,5—4=25,5 д. т. е. на 1 дюймъ менѣе при томъ же давленіи въ холодильникѣ.

Знаніе высоты барометра необходимо для опредѣленія наибольшей возможной пустоты холодильника. Для этого нужно опредѣлить температуру пара въ холодильникѣ и по ней найти по таблицамъ соотвѣтствующее давленіе; вычитая его изъ высоты барометра, получимъ въ остаткѣ наибольшую пустоту, возможную при найденной температурѣ холодильника. Если вакуметръ показываетъ меньшую пустоту, то это происходитъ или отъ неправильной регулировки впрыскиваемой воды, или отъ неплотности поршня воздушнаго насоса, или отъ неплотности соединеній флянцевъ и сальниковъ холодильника, воздушныхъ насосовъ, трубъ и пр. Наибольшій получаемый вакуумъ достигаетъ 72 см.=28,4 дюйма; но обыкновенно бываетъ только 65 до 70 см.=25,5 до 27,5 дюйм. въ хорошо построенныхъ и хорошо содержимыхъ машинахъ. Если вакуумъ равенъ нулю, т. е. если стрѣлка вакуметра стоитъ на нулѣ, то давленіе въ холодильникѣ равно наружному давленію воздуха. Поэтому если бы стрѣлка вакуметра при остановкѣ воздушнаго насоса не возвратилась бы на нуль, то это было бы указаніе на порчу вакуметра.

133. Сифонъ. Онъ состоитъ изъ согнутой трубки bad, которая служитъ для опоражниванія сосуда A. Для этого погружаютъ короткое колѣно въ воду, разрѣжаютъ воздухъ въ трубкѣ, напримѣръ чрезъ всасываніе на нижнемъ концѣ; тогда давленіе воздуха, дѣйствующее на поверхность воды A, поднимеетъ воду въ короткомъ колѣнѣ ba. Если бы точка a была выше уровня воды на 10,33 м. и если бы можно было трубку вполнѣ освободить отъ воздуха, то въ уровнѣ моря вода поднималась бы до a. Если же a находится не столь высоко, то при достаточномъ разрѣженіи воздуха вода перельется въ колѣно ad и наполнитъ его при полномъ удаленіи воздуха. Если тогда открыть трубку при d, то вода будетъ вытекать изъ трубки, а вмѣстѣ съ тѣмъ и изъ сосуда. На конецъ d дѣйствуетъ давленіе воздуха вертикально вверхъ. Вообразимъ, что его точка приложенія перенесена въ c (на одномъ уровнѣ съ b); тогда давленія воздуха въ c и въ b уравновѣшиваются; но столбъ воды cd падаетъ, ибо не удерживается никакой силою. Какъ скоро это произошло, то въ верхней части cab образуется безвоздушное пространство, вслѣдствіе котораго вода опять всасывается изъ сосуда. Чѣмъ длиннѣе колѣно cd подъ уровнемъ воды, тѣмъ сильнѣе дѣйствуетъ этотъ приборъ (фиг. 481).



фиг. 481.

134. Измѣреніе высотъ помощію барометра. Въ атмосферѣ плотность воздуха уменьшается снизу вверхъ. Это происходитъ отъ того, что нижніе слои воздуха сдавливаются лежащими выше ихъ слоями сильнѣе, чѣмъ верхніе. На законѣ этого уменьшенія основывается опредѣленіе разности высотъ двухъ мѣстъ въ атмосферѣ, лежащихъ одно выше другаго. Пусть B и b высоты барометра въ этихъ двухъ мѣстахъ; T и t температуры по Цельсію, тогда вертикальное разстояніе h этихъ мѣстъ при малыхъ высотахъ по Пуассону (для метрическихъ мѣръ)

$$h = 18395 \left((1 + \frac{T+t}{500}) \log \frac{B}{b} \right.$$

и при совершенно небольшихъ высотахъ по Бабинс

$$h = 15976 \frac{B-b}{B+b}\left(1+\frac{T+t}{500}\right)$$

Примѣръ. Нужно измѣрить высоту горы помощію барометра. Найдено B=0,74 м.; b=0,64 м.; T=10° и t=7. По Бабине

$$\text{высота } h = 15976 \frac{0{,}74-0.64}{0{,}74+0{,}64}\left(1+\frac{17}{500}\right) = 1197 \text{ м.}$$

135. Высота поднятія воздушнаго шара. Пусть P и V вѣсъ и объемъ шара; далѣе s вѣсъ кубической единицы газа, коимъ наполняется шаръ, и s' вѣсъ кубической единицы атмосфернаго воздуха въ томъ его слоѣ, до котораго шаръ можетъ подняться. Вѣсъ газа въ шарѣ $= Vs$; вся та сила, которая дѣйствуетъ на шаръ сверху внизъ $= Vs+P$. Этой силѣ противодѣйствуетъ сила выпиранія воздуха, которая поднимаетъ шаръ до тѣхъ поръ, пока прійдетъ въ слой воздуха съ удѣльнымъ вѣсомъ s'. Здѣсь шаръ вытѣсняетъ массу воздуха вѣсомъ Vs', который и долженъ его поддерживать. Поэтому получаемъ для этого слоя

$$Vs' = Vs + P; \text{ откуда } s' = s + \frac{P}{V}.$$

При помощи этой формулы и формулы для барометрическаго измѣренія высотъ можно вычислить ту высоту на которую шаръ поднимается.

Примѣръ. Пусть объемъ шара 200 куб. м. и его вѣсъ 156 клгр. Пусть онъ наполняется водородомъ; вѣсъ куб. метра водорода=0.09; тогда

$$s' = 0\,09 + \frac{156}{200} = 0{,}87.$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ 1 куб. м. воздуха на высотѣ поднятія шара 0,87 клгр., тогда какъ вѣсъ 1 кб. м. воздуха на землѣ 1,29 кг. Эти вѣса относятся какъ барометрическія высоты въ мѣстахъ наблюденія. Поэтому по Бабине, не принимая во вниманіе температуры въ этихъ мѣстахъ.

$$\text{Высота поднятія} = 15976 \frac{1{,}29-0{,}87}{1{,}29+0{,}87} = 3106 \text{ метр.}$$

136. Удѣльный вѣсъ газовъ. Точная величина онаго часто употребляется къ нижеслѣдующихъ вычисленіяхъ и потому должно ее знать.

а) Принимая удѣльный вѣсъ воды за единицу, то при температурѣ 0°Ц. и при атмосферномъ давленіи въ 760 мм. получимъ удѣльный вѣсъ

для атмосфернаго воздуха.	0,001293187
„ азота.	0,001256157
„ кислорода	0,001429802
„ водорода.	0,000089578
„ углекислоты.	0,001977414

b) Поэтому вѣсъ 1 куб. м. атмосф. воздуха . . . . . =1,293 клгр.
„ 1 „ „ водорода. . . . . =0,089 „
„ 1 „ „ углекислоты. . . . . =1,977 „
„ 1 „ „ кислорода . . . . . =1,429 „

с) Принимая удѣльный вѣсъ атмосфернаго воздуха за единицу, то будетъ

удѣльный вѣсъ кислорода	=1,10563
„ „ азота	=0,97137
„ „ водорода	0,06926
„ „ углекислоты	1,52901

137. Законъ Дальтона. Если нѣсколько газовъ находятся одновременно въ одномъ и томъ же пространствѣ и не дѣйствуютъ химически одинъ на другой, то каждый газъ наполняетъ это пространство совершенно такъ, какъ если бы онъ находился одинъ, а другихъ газовъ не было. Давленіе Ps, которое производитъ такая смѣсь, равняется суммѣ давленій p', p'', p'''..., которыя каждый газъ произвелъ бы одинъ; или $p_s = p' + p'' + p''' + \ldots$

138. Законъ Маріотта. а) Если объемъ какого нибудь совершеннаго газа измѣняется при температурѣ, остающейся постоянно, то упругость и плотность газа измѣняется въ обратной пропорціи. Обозначимъ чрезъ v_1 и v объемы, а черезъ γ_1 и γ плотности какого нибудь количества совершеннаго газа, соотвѣтствующія давленіямъ p_1 и p; если температура не измѣнилась, то

$$\frac{v_1}{v} = \frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{p}{p_1},$$

а также

$$v_1\gamma_1 = v\gamma \text{ и } v_1p_1 = vp,$$

т. е. для одного и того же вѣса совершеннаго газа произведеніе объема на плотность или произведеніе объема на упругость остается постояннымъ.

Примѣръ 1. 1 куб. м. атмосфернаго воздуха b при нулѣ градусовъ и при среднемъ стояніи барометра (76 см.=1 атмосф.=1 кг. на □ см.) вѣситъ 1,3 кг., Сколько будетъ вѣсить 1 кб. м. воздуха при 80 см. высоты барометра?

Искомый вѣсъ опредѣляется по пропорціи

$$76 : 80 = 1{,}3 : x; \text{ откуда } x = \frac{80.1{,}3}{76} = 1{,}368 \text{ кг.}$$

Примѣръ 2. 1 кг. нѣкоего газа сжимается въ цилиндрѣ діаметромъ 0,25 м. помощію поршня вѣсомѣръ 150 кг. Каковъ будетъ объемъ этого газа тогда, когда его удѣльный вѣсъ будетъ относиться къ уд. вѣсу атмосфернаго воздуха какъ 1,529 : 1; температура же во время сжатія не измѣняется?

По первому примѣру 1 кб. м. воздуха при нулѣ градусовъ и среднемъ стояніи барометра вѣситъ 1,3 кг.; слѣдов. 1 кб. м. даннаго газа при тѣхъ же условіяхъ вѣситъ 1,529.1,3=1,988 кг. и 1 кг. этого газа занимаетъ при тѣхъ же условіяхъ объемъ 1 : 1,998 = 0,516 кб. м. Этотъ объемъ долженъ находиться въ цилиндрѣ діаметромъ 0,25 м., площадь коего равна 0,0491 кв. м. Поэтому 1 кг. даннаго газа образуетъ въ такомъ цилиндрѣ столбъ высотою почти 10,5 м. Если этотъ столбъ, первоначально находящійся подъ давленіемъ одной атмосферы, сжимается еще давленіемъ въ 150 кг. на площади поршня въ 0,0491 кв. м. или 491 кв. см., тогда на газъ дѣйствуетъ давленіе $1 + {}^{150}/_{491} = 1{,}305$ атмосф.; а такъ какъ по закону Маріотта объемы обратно пропорціональны давленіямъ, то при нулѣ градусовъ газъ занимаетъ объемъ $k = 0{,}516 : 1{,}305 = 0{,}395$ кб. м.; а высота столба газа въ цилиндрѣ $h = 10{,}5.0{,}395 : 0{,}516 = 8{,}04$ м.

b) Сжатіе воздуха по закону Маріотта. При сжатіи возвышается температура газа. Чтобы законъ Маріотта оставался вѣрнымъ, то сжатіе должно быть небольшое, такъ что возвышеніе температуры можно не брать во вниманіе, или сжатіе должно происходить медленно, чтобъ дать газу время снова охладиться до первоначальной температуры или нужно позаботиться о томъ, чтобы теплота сжатія быстро отнималась искусственнымъ образомъ, напр. чрезъ обмываніе цилиндра холодною водою или черезъ впрыскиваніе холодной воды внутрь

цилиндра; тогда температура воздуха во время сжатія будетъ оставаться одна и та же, какъ она была при началѣ сжатія, а давленіе воздуха будетъ въ точности обратно пропорціонально объему, т. е. оно будетъ въ 2 раза больше, если воздухъ будетъ сжатъ до половины своего объема и т. д.

И о работѣ, которая при этихъ условіяхъ необходима для сжатія, можно легко сдѣлать представленіе слѣдующимъ образомъ:

Вообразимъ поршень съ площадью 1 кв. м., который сжимаетъ въ цилиндрѣ атмосферный воздухъ, то при началѣ давленіе въ цилиндрѣ равняется наружному атмосферному давленію (или избыточное давленіе равна нулю). Если поршень прошелъ половину своего пути, то абсолютное давленіе въ цилиндрѣ будетъ 2 атмосферы (или избыточное давленіе 1 атм.). Среднее давленіе на поршень, когда онъ проходилъ половину его пути (половину длины цилиндра) равняется среднему ариометическому между 1 и 2 атмосферами абсолютными=$1^1/_2$ абс. атм. или $^1/_2$ атм. избыточное давленіе). Если поршень при этомъ прошелъ $1^1/_2$ м. (при 3 м. длины цилиндра или полнаго хода поршня), то произведенная поршнемъ механическая работа будетъ $1.^1/_2.10333.1{,}5=7749$ клгр. мтр., ибо давленіе атмосферы на 1 кв. м. площади составляетъ 10333 клгр. Слѣдовательно работа, произведенная поршнемъ при сжатіи воздуха, равняется произведенію изъ объема, описываемаго поршнемъ, на производимое на него среднее давленіе воздуха.

Этотъ процессъ можно представить графически: Для этого (фиг. 2 таб. 19) линіею ad изобразимъ длину цилиндра или полный путь поршня и линіею dc давленіе въ концѣ хода поршня (идущаго отъ a къ d). Вертикальная линія, идущая отъ a внизъ представляетъ первоначальное давленіе (атмосферное). Когда поршень прошелъ половину своего пути, это давленіе будетъ вдвое больше, что показываетъ вертикальная линія, проведенная на половинѣ ad внизъ отъ пунктирной линіи ac. Если поршень прошелъ $^3/_4$ его пути, то въ этомъ положеніи линія, идущая внизъ отъ ac, будетъ въ 4 раза больше чѣмъ при a или въ 2 раза больше, чѣмъ на половинѣ хода поршня. Если изобразимъ объемы (или проходимые поршнемъ пути) въ видѣ абциссъ отъ a и сдавленія, соотвѣтствующіе проходимымъ путямъ, въ видѣ ординатъ и соединимъ концевыя точки этихъ послѣднихъ, то получимъ дугообразную кривую ac, которая называется изотермическою кривою (изотермою) воздуха (или газа).

Крестообразно—затѣненная площадь, ограниченная этою кривою и двумя прямыми ad и dc, указываетъ механическую работу, которую должно было произвести на поршнѣ на длинѣ пути ad. Эта кривая ac есть равносторонняя Гипербола и ее можно легко построить для всякаго процесса сжатія.

Нѣсколько труднѣе опредѣлить механическую работу, употребленную для сжатія, но все же можно сдѣлать это опредѣленіе наглядным способомъ. Для этого сдѣлаемъ примѣръ.

Вообразимъ себѣ, что весь путь поршня раздѣленъ на 10 равныхъ частей и предположимъ, что поршень подвигается впередъ раздѣльно, всякій разъ на $^1/_{10}$ всего хода, такъ что объемъ при каждомъ подвиганіи уменьшается на $^1/_{10}$ и послѣ $^9/_{10}$ пути, пройденнаго поршнемъ, достигается желаемое сжатіе до 10 атм. абсол. (или 9 атм. избыточнаго давленія), для чего поршень долженъ пройти $^9/_{10}$ всего своего хода ($^9/_{10}$ длины цилиндра).

Теперь вычислимъ среднее давленіе въ теченіе каждой изъ этихъ $^9/_{10}$ пути и черезъ умноженіе на $^1/_{10}$ объемъ получимъ необходимую работу для каждаго отдѣленія. Сумма этихъ работъ даетъ полную работу.

Получимъ слѣдующія числа, если будемъ сжимать 1 клгр. воздуха=0,07333 куб. м.:

	Давленіе при началѣ десятой части хода.	Давленіе при концѣ десятой части хода.	Потребная работа=среднему давленію, умноженному на десятую часть объема
1	10333 клгр.	$^{10}/_{9}$.10333 клгр.	1,06.10330.0,07333
2	$^{10}/_{9}$.10333 „	$^{10}/_{8}$.10333 „	1,18.10330.0,07333
3	$^{10}/_{8}$.10333 „	$^{10}/_{7}$.10333 „	1,36.10330.0,07333
4	$^{10}/_{7}$.10333 „	$^{10}/_{6}$.10333 „	1,55.10330.0,07333
5	$^{10}/_{6}$.10333 „	$^{10}/_{5}$.10333 „	1,83.10330.0,07333
6	$^{10}/_{5}$.10333 „	$^{10}/_{4}$.10333 „	2,25.10330.0,07333
7	$^{10}/_{4}$.10333 „	$^{10}/_{3}$.10333 „	2,42.10330.0,07333
8	$^{10}/_{3}$.10333 „	$^{10}/_{2}$.10333 „	4,17.10330.0,07333
9	$^{10}/_{2}$.10333 „	$^{10}/_{1}$.10333 „	7,50.10330.0,07333
—	—	—	
—	—	—	Сумма=23,80.10330.0,07333= =19015 клгр. мтр.

Этотъ способъ вычисленія даетъ искомую величину нѣсколько больше, потому что площадь крестообразно затѣненная *adc*, фиг. 2 табл. 19, получается при этомъ черезъ то, что дугообразная линія *ac* составляется изъ прямыхъ линій, соединяющихъ точки этой линіи, соотвѣтствующія десятымъ частямъ хода, тогда какъ вполнѣ точная величина этой площади или искомая работа выражается площадью *adc*, въ которой *ac* есть кривая линія. Получилась бы тѣмъ болѣе правильная величина для полной работы по описанному способу, чѣмъ на меньшія части раздѣлимъ выходъ поршня. Однако-жь этотъ способъ вычисленія очень труденъ и продолжителенъ совершенно точная полная работа сжатія получается при помощи слѣдующей формулы:

Работа, необходима для сжатія, будетъ:

$$N_u = v.p.\ log.\ nat.\ \frac{p_1}{p}$$

или

$$N_u = v.p.\ log.\ nat.\ \frac{v}{v_1}$$

Слѣдуетъ помнить, что въ это выраженіе входятъ натуральные, а не обыкновенные логариѳмы.

гдѣ N_u механическая работа, которую требуетъ сжатіе; v первоначальный объемъ при началѣ сжатія; v_1 объемъ при концѣ сжатія; p первоначальное абсолютное давленіе при началѣ сжатій; p_1 абсолютное давленіе при концѣ сжатія. Если вычислимъ по этой формулѣ предъидущій примѣръ, то v=0,733 куб. м.; p=10330 клгр; p_1 = 103330 клгр. v_1 = 0,0733 куб. м. и работа для сжатія

$$N_u = 0{,}733.10330\ log.\ nat.\ \frac{103330}{10333} = 18400 \text{ клгр. мтр.}$$

Таблица натуральныхъ логариѳмовъ, различныхъ чиселъ, нужная для этихъ вычисленій, находится въ началѣ книги на стр. 19. Если желаемъ употреблять обыкновенные (Бригговы) логариѳмы, то формула получаетъ слѣдующій видъ:

$$N_u = v.p.\ 2{,}3026\ log.\frac{p_1}{p}$$
$$\text{или } N_u = v.p.\ 2{,}3026\ log.\frac{v_1}{v}$$

При чемъ въ выраженія входятъ обыкновенные логариѳмы.

c) Расширеніе воздуха по закону Маріотта. Кривыя расширенія, вычерченная по закону Маріотта, будетъ также изотерма; она представляетъ такую же равностороннюю Гиперболу, асимптоты которой образуютъ оси координатъ. При начальномъ объемѣ v, расширившемся въ v_1, она получается такъ: (табл. 1, фиг. 1) отрѣзокъ $v_1—v$ раздѣли на произвольное число равныхъ или неравныхъ частей; въ этихъ точкахъ дѣленіе проведи перпендикуляры и потомъ отъ конечной точки o ординаты т. е. перпендикуляра, представляющаго начальное давленіе p, проведи линію параллельную съ $v_1—v$. Точки пресѣченія 1,2,3... этой параллели съ перпендикулярами соедини съ началомъ координатъ O. Изъ точекъ пересѣченія I; II; III... этихъ соединяющихъ лучей съ ординатою p проведи линіи параллельныя съ $v_1—v$; точки пересѣченія 1; 2; 3... оныхъ со отвѣтствующими перпендикулярами будутъ точки искомой изотермы.

Примѣръ 1. Цилиндръ компрессатора двойнаго дѣйствія имѣетъ діаметръ $d=450$ мм. и ходъ $l=600$ мм. Поршень дѣлаетъ 30 двойныхъ ходовъ въ минуту. Воздухъ сжимается до 7 атм. избыточнаго давленія (8 атм. абсолютнаго давленія). Какъ великъ объемъ всасываемаго воздуха, какъ великъ объемъ сжатаго воздуха и какую силу требуетъ компрессаторъ въ секунду, если не брать во вниманіе ни вредныя сопротивленія, ни вредное пространство въ цилиндрѣ?

При 30 двойныхъ ходахъ въ минуту скорость поршня въ секунду будетъ

$$v=\frac{2.30.0{,}600}{60}=0{,}600 \text{ метр.}$$

Площадь поршня $=0{,}7854d^2=0{,}1590$ кв. м. Слѣдовательно теоретическій всасываемый объемъ въ секунду

$$V=0{,}1590.0{,}600=0{,}0954 \text{ куб. метр.}$$

Вѣсъ этого объема воздуха $1{,}293.0{,}954=0{,}1225$ клгр. Объемъ воздуха, сжатаго до 8 атмосферъ абсолютнаго давленія, будетъ въ 8 разъ меньше, давленіе его въ 8 разъ больше; вѣсъ остается тотъ же. Этотъ объемъ слѣдовательно

$$V_1=\frac{0{,}0954}{8}=0{,}012 \text{ куб. м. въ секунду.}$$

Потребная теоретическая движущая сила будетъ

$$N_u=\text{v.p. log. nat.}\frac{p_1}{p}=0{,}0954.10333.\text{log. nat.}\ {}^8/_1=2035 \text{ клгр. мтр.}={}^{2035}/_{75}=27 \text{ Л. С.}$$

Примѣръ 2. Въ секунду должно сжимать 1,200 куб. м. воздуха до 12 атм. абсолютнаго давленія (11 атм. изб. давл.) Какіе размѣры получитъ компрессаторъ, если онъ имѣетъ 2 цилиндра каждый двойнаго дѣйствія и какая нужна сила для работы обоихъ цилиндровъ?

Прнмемъ скорость поршня въ 0,90 м. въ секунду. Каждый цилиндръ долженъ сжимать половину объема или 0,600 куб. м. Потребная площадь разрѣза цилиндра будетъ $\frac{0{,}600}{0{,}900}=0{,}660$ кв. м. или діаметръ 0,920 м.

Дадимъ поршню ходъ 1,500 м.; тогда число двойныхъ ходовъ или оборотовъ вала

$$n=60\ \frac{0{,}90}{2.1{,}5}=18 \text{ въ минуту.}$$

Полная потребная теоретическая движущая сила будетъ

N_u=v.p. log. nat. $^{12}/_{1}$=1,20.10330.log. nat. 12=30680 клгр. мтр.=409 Л. С.

Примѣръ 3. Для дѣйствія бурильной машины были поставлены на Сѣверной сторонѣ Готардскаго туннеля нѣсколько группъ компрессаторовъ, которые сжимали воздухъ до 7 атм. избыточнаго давленія (или 8 атм. абс.). Каждая изъ названныхъ группъ состояла изъ 3, двойнаго дѣйствія цилиндровъ съ діаметромъ 420 мм. и съ ходомъ поршня 650 мм., работавшихъ отъ общаго колѣнчатаго вала при 80 оборотахъ или двойныхъ ходахъ въ минуту. Какой объемъ сжатаго воздуха доставляла такая группа и какая потребна движущая сила для 1-ой группы, если не принимать во вниманіе вредныя сопротивленія и повышеніе температуры, происходящее при сжатіи. Для возможнаго уменьшенія послѣдняго въ цилиндрѣ впрыскивалась вода.

При 80 оборотахъ и ходѣ 650 мм. скорость поршня въ секунду 80.2.0,65 : 60= =1,733 ме ра.

Площадь цилиндра=0,1385 кв. м. и описанный поршнемъ объемъ

я=0,1385.1,733=0,240 куб. м. въ секунду или 60.0,240=14,40 куб. м. въ минуту.

Всѣ 3 цилиндра всасываютъ 3.14,40=43,20 куб. м. воздуха въ минуту и доставляютъ 43,$^{2}/_{8}$=5,4 куб. м. сжатаго до 7 атм. изб. дав. воздуха въ минуту. Поэтому необходимая движущая сила.

N_u=v.p. log. nat. $\frac{p_1}{p}$=3.0,240.10330.log. nat. 8=15 91 клгр. мтр.=205 Л. С.

139. Законъ Гей-Люссака. Всѣ совершенные газы, подвергнутые постоянному и при томъ произвольному давленію, расширяются отъ нагрѣванія однообразно по мѣрѣ возвышенія температуры, т. е. приращенія объема газа пропорціональны его температурѣ. Если объемъ v_0 совершеннаго газа при 0^0 подъ давленіемъ атмосферы нагрѣвать на t^0, то по опытамъ Гей-Люссака, Реньо и другихъ при каждомъ увеличеніи температуры на 1^0 онъ расширяется почти на $^{1}/_{23}$ часть объема v_0 *). Число $^{1}/_{23}$=0,003665 есть почти постоянное для всѣхъ совершенныхъ газовъ и называется коэффиціентомъ расширенія совершенныхъ газовъ. Поэтому изъ v_0 послѣ нагрѣванія получается объемъ:

$$v = v_0(1 + 0{,}003665t).$$

Если тотъ же самый объемъ v_0 при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ нагрѣть до температуры t_1, то получится объемъ $v=v_1(1-0{,}003665t_1)$ а чрезъ раздѣленіе получимъ отношеніе объемовъ: $\frac{v}{v_1} = \frac{1+0{,}003665t}{1+0003665t_1}\cdots$

объемы всѣхъ совершенныхъ газовъ при постоянномъ давленіи прямо пропорціональны биномамъ расширенія.

Примѣръ. Объемъ газа въ 3 куб. м. при 65 градусахъ нагрѣвается до 300 градусовъ. Каковъ будетъ объемъ этого газа послѣ нагрѣванія, если давленіе не измѣнилось?

Искомый объемъ k вычисляется по уравненію

$$k=\frac{(k+0{,}003665.300)^3}{k+0{,}003665.85}=5{,}967 \text{ куб. м.}$$

Обозначимъ черезъ v_1 плотность объема v при давленіи p и черезъ γ, плотность объема v, при давленіи p_1; тогда получимъ

$$\frac{\gamma}{\gamma_1}=\frac{p}{p_1}=\frac{v_1}{v}=\frac{1+0{,}003665t_1}{1+0{,}003665t}\cdots$$

*) Если въ нижеслѣдующемъ градусы температуры приводятся безъ точнаго обозначенія шкалы, то всегда слѣдуетъ подразумѣвать градусы Цельсія.

140. Законъ Гей-Люссака-Маріотта. Онъ указываетъ измѣненія объемовъ или плотностей какой нибудь данной смѣси газовъ въ томъ случаѣ, когда температура и давленіе дѣйствуютъ на измѣненіе объема одновременно. Пусть p_0 давленіе, которому подвергается объемъ v_0 даннаго вѣса газа при температурѣ t_0 (нуль градусовъ); p давленіе того же вѣса газа при t и p_1 давленіе при t_1; тогда

$$v=(1+0,003665t)\frac{p_0}{p}v_0 \text{ и } v_1=(1+0,003665t_1)\frac{p_0}{p_1}v_0$$

откуда слѣдуетъ

$$(5)\ldots\frac{v}{v_1}=\frac{1+0,003665t}{1+0,003665t_1}\cdot\frac{p_1}{p} \text{ и } \frac{\gamma}{\gamma_1}=\frac{1+0,003665t_1}{1+0,003665t}\cdot\frac{p}{p_1}.$$

Примѣръ. 20 куб. м. воздуха при 15 градусахъ и при упругости 2,5 атмосферы нагрѣваются до 100 градусовъ и при этомъ получаютъ упругость 2,5 атм. Найти объемъ воздуха послѣ этого измѣненія давленія и температуры?

$$v=\frac{(1+0,003665.100)20}{1+0,003665.15}\cdot\frac{1,5}{2,5}=15,44 \text{ кб. м.}$$

141. Удѣльный объемъ газа. Подъ этимъ названіемъ подразумѣвается объемъ 1 клгр. газа при какой нибудь температурѣ t и при соотвѣтствующемъ давленіи p; онъ обозначается буквою v. При t_0=нулю градусовъ и p_0= 1 атмосферѣ или 1,0334 клгр. давленія на 1 кв. см. удѣльный объемъ атмосфернаго воздуха $v_0=\frac{1}{1,293}=0,769$ куб. м.

Отсюда слѣдуетъ, что удѣльный объемъ газа равняется обратной величинѣ удѣльнаго вѣса газа.

Если обозначимъ вообще коэффиціентъ расширенія газовъ черезъ α, то уравненіе въ примѣненіи его къ удѣльнымъ объемамъ газа, будетъ:

$$\frac{p.v}{p_1.v_1}=\frac{1+\alpha t}{1+\alpha t_1}=\frac{\frac{1}{\alpha}+t}{\frac{1}{\alpha}+t_1}.$$

Но $\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{0,003665}=273$. Положивъ $273+t=T$ и $273+t_1=T_1$ уравненіе, выражающее законъ Гей-Люссака-Маріотта, обратится въ слѣдующее:

$$\frac{p.v}{p_1.v_1}=\frac{T}{T_1} \text{ или } \frac{vp}{T}=\frac{v_1p_1}{T_1}=R$$

гдѣ T считается отъ нуля, лежащаго на 273^0 ниже обыкновеннаго (точка таянія льда) и называется абсолютною температурою.

Эта формула даетъ слѣдующее характеристическое уравненіе для совершенныхъ газовъ

$$pv=\frac{p}{\gamma}=RT=R(273+t).$$

R называется постояннымъ числомъ закона Гей-Люссака Маріотта. Если возьмемъ 1 куб. м. сухаго атмосфернаго воздуха при 0^0 и при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи, то $t=0$; $T=273$; $p=10334$ клгр.; $v=1$ куб. м.; $\gamma=1,293$; и получимъ $R=29,272$.

Если 1 клгр. газа, заключеннаго въ цилиндрѣ съ сѣченіемъ въ 1 кв. м. и подверженнаго давленію p отъ поршня, нагрѣемъ на 1^0. то начальный объемъ газа v увеличится на величину $0{,}003665\ v$ или на $\frac{v}{273}=\frac{v}{T}$ и это увеличеніе объема выразится поднятіемъ поршня на длинѣ пути $\frac{v}{T}$, на которомъ преодолѣвалось давленіе p; поэтому внѣшняя работа, произведенная газомъ, равняется $\frac{vp}{T}$. Поэтому постоянное число R закона Гей-Люссака-Маріотта выражаетъ ту внѣшнюю работу, которую производитъ 1 клгр. газа при нагрѣваніи на 1^0 подъ произвольнымъ постояннымъ давленіемъ.

Слѣдовательно законъ Гей-Люссака-Маріотта будетъ: Во всѣхъ совершенныхъ газахъ внѣшняя работа, которая получается при расширеніи 1 клгр. газа вслѣдствіе нагрѣванія на 1^0 подъ постояннымъ давленіемъ есть величина постоянная.

Эта внѣшняя работа на 1 клгр. газа и на 1^0 возвышенія температуры не зависитъ отъ упругости и температуры, ибо $R=A\alpha v_0$ гдѣ A давленіе атмосферы равное 10334 кг. на кв. м., $\alpha=\frac{1}{T}=\frac{1}{273}=0{,}003665$ и v_0 удѣльный объемъ газа при 0^0. Зная R для одного газа, можно опредѣлить R_1 и для всякаго другаго по $R_1=R/\Sigma$, гдѣ $\Sigma=8^1/_8$ есть удѣльный вѣсъ газа относительно воздуха (т. е. число R обратно пропорціонально удѣльному вѣсу газа); напр. для водорода $\Sigma=\frac{1}{14}$ и $R_1=29{,}272\,.\,14=422{,}612$. Точно также найдемъ для кислорода $R=26{,}475$ и для азота $R=30{,}134$.

Закономъ Маріотта и Гей-Люссака можно пользоваться для опредѣленія вѣса даннаго количества газа. При температурѣ t^0Ц. и давленіи p клгр. на кв. см. вѣсъ 1 куб. м. воздуха будетъ $\frac{1{,}293p}{1+0{,}003665t}$ клгр.

142. Законъ Пуассона или потенцированный законъ Маріотта. Подобно тому, какъ возвышеніе температуры воздуха производитъ расширеніе его, такъ сжатіе или уменьшеніе объема производитъ возвышеніе температуры, ибо работа, потребная для сжатія не можетъ исчезнуть; она только превращается въ теплоту. Если эта теплота не можетъ быть удалена, то не только сжатіе производитъ увеличеніе давленія, но отъ возвышенія температуры происходитъ расширеніе воздуха, которое еще увеличиваетъ его давленіе; вслѣдствіе этого давленіе возрастаетъ уже не обратно пропорціонально объему, но быстрѣе.

Представимъ себѣ этотъ процессъ графически; если для этого будемъ откладывать объемы въ видѣ абсциссъ, а соотвѣтствующія имъ давленія въ видѣ ординатъ, то линія ab (фиг. 2 табл. 19) покажетъ, какъ возрастаетъ давленіе при такихъ условіяхъ; а площадь $abcd$, ограниченная линіями $abcd$ покажетъ работу, которая потребна для сжатія воздуха. Линія ab, указывающая это увеличеніе давленія при условіи возвышенія

температуры, называется адіабатическою кривою воздуха (въ отличіе отъ изотермической кривой ac), потому что при этомъ предполагаютъ, что стѣнки цилиндра компрессатора непроницаемы (адіабатичны) для теплоты.

Этотъ адіабатическій процессъ играетъ большую роль при сжатіи воздуха, а также и при расширеніи воздуха съ отдачею работы.

А именно при такомъ расширеніи происходитъ пониженіе температуры, которое не только производитъ болѣе быстрое уменьшеніе давленія при расширеніи. чѣмъ какое соотвѣтствовало бы простому увеличенію объема, но и причиняетъ тѣ очень непріятныя затрудненія, что цилиндръ и поршень охлаждаются гораздо ниже 0°Ц. температуры, такъ что смазочный матеріалъ замерзаетъ и водяной паръ воздуха осаждается въ цилиндрѣ въ видѣ снѣга, если не нагрѣвать его искусственно; а это представляетъ потерю работы.

Пуассонъ доказалъ, что объемъ всякаго совершеннаго газа, находящагося въ сосудѣ, непроницаемомъ для теплоты, обратно пропорціоналенъ корню x (1,41) степени изъ его упругости и корню (x—1-й) степени изъ абсолютной температуры. Здѣсь $x=\frac{0{,}2375}{0{,}1685}=1{,}41$.

Если при измѣненіи состояніи газа теплота не доставляется къ нему и не отнимается отъ него, тогда

$$\frac{v}{v_1}=\left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{1}{x}}=\left(\frac{T_1}{T}\right)^{\frac{1}{x-1}}.$$

143. Сравненіе изотермы и адіабаты. Если возьмемъ газъ начальнаго v съ упругостію p и если онъ расширяется сначала по изотермѣ, а въ другой разъ по адіабатѣ до объема v_1 тогда конечная упругость $p_1 i$ въ первомъ случаѣ будетъ больше, нежели во второмъ $p_1 a$,— потому что при расширеніи по изотермѣ температура остается постоянною, слѣдовательно должно подводить теплоту, тогда какъ расширеніе по адіабата совершается безъ доставленія теплоты.

Напротивъ, если газъ сжимается отъ v до v_2 по изотермѣ и адіабатѣ, то теперь $p_2 i$ меньше, нежели $p_2 a$ потому что газъ, сжимавшійся при постоянной температурѣ отдавалъ теплоту, тогда какъ сжатіе по адіабатѣ происходитъ безъ отведенія теплоты. Отсюда слѣдуетъ:

Расширяющійся газъ, если онъ слѣдуетъ Закону Маріотта будетъ имѣть при одинаковомъ объемѣ бо́льшую упругость, нежели когда онъ слѣдуетъ закону Пуассона; напротивъ сжимаемый газъ при тѣхъ условіяхъ получаетъ низшую упругость.

144. Нагрѣваніе воздуха при сжатіи. Точная температура воздуха послѣ сжатія будетъ:

$$T_1=T\left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{x-1}{x}}=T\left(\frac{p_1}{p}\right)^{0{,}2907} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$T_1=T\left(\frac{v}{v_1}\right)^{x-1}=T\left(\frac{v}{v_1}\right)^{0{,}41} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

т. е. абсолютныя температуры воздуха прямо пропорціональны $\left(\frac{x-1}{x}\right)$ степени давленій. Или $t_1=(273+t)\left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{x-1}{x}}-273$. Это уравненіе рѣшается при помощи обыкновенныхъ логариѳмовъ.

$$T_1=\text{числу}\left\{\log.\ T+0{,}2907(\log.\ p_1-\log.\ p)\right\}\text{ или}$$

$$t_1=\text{числу}\left\{\log.\ (t+273)+0{,}2907(\log.\ p_1-\log.\ p)\right\}-273.$$

Примѣръ. Требуется вычислить температуру объема воздуха по формулѣ 1) сжатаго до 12 атм. абсолютной упругости (11 атмосферъ избыточнаго давленія). Начальная температура $t=10^0$Ц. (слѣдов. $T=10+273=283$) и начальная упругость p=наружному давленію воздуха.

$$t_1=\text{число}\left\{log.\ 283+0{,}2907\ (log.\ 12-log.\ 1)\right\}-273=308^0\text{Ц.}$$

По таблицѣ логариѳмовъ сначала находимъ: $log.\ 283=2{,}4502$; $log.\ 12=1{,}0792$ и $log.\ 1$=нулю; слѣд. $log.\ 12-log.\ 1=1{,}0792$. Этотъ логариѳмъ помножимъ на 0,2907; получимъ 0,3137. Сумма выраженій въ скобкахъ=2,4502+0,3137=2,7639. Ищемъ въ таблицѣ число, соотвѣтствующее этому логариѳму; находимъ 580. Изъ него вычтемъ (—273), получимъ 570—273=308^{0}Ц. искомая температура. Мы видимъ, что повышеніе температуры при сжатіи воздуха по адіабатическому закону (т. е. если теплота не можетъ удалиться или поглощаться искусственно) весьма значительно, ибо уже при сжатіи на $^1/_2$ начальнаго объема температура съ 10^{0}Ц. повышается

для 2 атм. абсол. давленія $t_1=\text{число}\left\{log.\ 283+0{,}2907(log.\ 2-log.\ 1)\right\}-273^0=73^0$Ц.

„ 10 „ „ „ $t_1=\text{число}\left\{log.\ 283+0{,}2907(log.\ 10-log.\ 1)\right\}-273^0=278^0$Ц.

до 73^{0}Ц., а при сжатіи до 10 атм. получается температура въ 278^0, при которой всѣ смазочные матеріалы обращаются въ пары.

145. **Расходъ работы при сжатіи воздуха безъ отведенія теплоты.** Удерживая прежнія обозначенія, получимъ для работы сжатія

$$(1)\ldots\ldots\ldots\ldots N_u=v.\,p.\frac{x}{x-1}\left\{\left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{x-1}{x}}-1\right\}$$

При этомъ $\frac{p}{p_1}=\left(\frac{v_1}{v}\right)^x$. Слѣдовательно, если воздухъ при 0^{0}Ц. желаемъ довести до двойнаго давленія $\frac{p}{p_1}=\frac{1}{2}$ и необходимое для этого уменьшеніе объема

$$\left(\frac{v_1}{v}\right)^{1{,}41}=\frac{1}{2}\text{ или }\frac{v_1}{v}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{1{,}41}}=\left(\frac{1}{2}\right)^{0{,}709}$$

Рѣшимъ это выраженіе при помощи логариѳмовъ:

$$log.\ \frac{v_1}{v}=0{,}709\ log.\ \frac{1}{2}=-0{,}709.0{,}30103=0{,}78657;$$

этому логариѳму соотвѣтствуетъ число 0,6118; слѣдовательно $v_1/v=0{,}6118$, т. е. при адіабатическомъ сжатіи необходимо уменьшеніе объема только до 0,6118 первоначальнаго, чтобы удвоить давленіе воздуха, тогда какъ при изотермическомъ сжатіи нужно уменьшеніе объема до 0,5 первоначальнаго.

Выраженіе 1) черезъ подстановку величины $\frac{x-1}{x}=0{,}2907$ и $\frac{x-1}{x}=3{,}44$ получаетъ болѣе простой видъ

$$(2) \ldots\ldots\ldots\ldots N_u = 3{,}44\, v.p. \left\{\left(\frac{p_1}{p}\right)^{0{,}2907} - 1\right\}$$

Примѣръ 1. Давленіе 1,200 куб. м. воздуха должно увеличить съ 750 мм. ртутнаго столба до 800 мм. ртути. Какая для этого нужна работа?

Атмосферное давленіе здѣсь 0,750. 3600=10200 клгр. на кв. метръ и искомая работа будетъ

$$N_u = 3{,}44.1{,}200.10200 \left\{\left(\frac{800}{750}\right)^{0{,}2907} - 1\right\}$$

— число логариѳма $\{0{,}2907(log.\ 800 - log.\ 750)$=числу логар. 0,00813=1,018.

Послѣ вычитанія 1 въ скобкахъ останется 0,018; поэтому

N_u=3,44.1,200.10200.0,018=756 килограммметровъ.

Примѣръ 2. 1,200 куб. м. воздуха (въ секунду) атмосфернаго давленія сжимаются до 12 атм. абсолютнаго давленія (или 11 атм. избыточнаго). Какая нужна для этого сила, принимая въ соображеніе происходящее повышеніе температуры?

N_u=1,200.10300.3,44. $\{(12)^{0{,}2907} - 1\}$; $12^{0{,}2907}$= числ. лог. $\{0{,}2907.\ log.\ 12\}$ = 2 06

N_u=1,200.10300.3,44 . 1,06=45060 килогр. метр. въ секунду=601 Л. С.

Отсюда видно, что потребная движущая сила здѣсь на половину больше, чѣмъ при изотермическомъ сжатіи. Слѣдовательно разница тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше будетъ давленіе сжатаго воздуха.

146. Работа, какую газъ производитъ при расширеніи. Если нѣкоторый объемъ воздуха или газа, сжатаго по закону адіабаты, снова расширяется, для чего заставляютъ его дѣйствовать на подвижный поршень машинъ (или въ воздушномъ движителѣ, устроенномъ на подобіе паровой машины), то ясно, что онъ производитъ туже самую механическую работу, которая была нужна для сжатія. Слѣдовательно эта работа

$$a) \quad N_u = v.p.\frac{x}{x-1}\left\{\left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{x-1}{x}} - 1\right\}$$

$$b) \text{или } N_u = v_1.p_1.\frac{x}{x\ \ 1}\left\{1 - \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{x-1}{x}}\right\}$$

При этомъ расширеніи съ произведеніемъ работы получается конечная температура

$$c) \quad t = t_1\left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{x-1}{x}} + 273\left\{\left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{x-1}{x}} - 1\right\}$$

$$d) \text{ или } t = t_1\left(\frac{p}{p_1}\right)^{0{,}2907} + 273\left\{\left(\frac{p}{p^1}\right)^{0{,}2907} - 1\right\}$$

Если допустить, что стѣнки цилиндра не пропускаютъ теплоту, то вся теплота, развитая при сжатіи, сохраняется въ воздухѣ; но воздухъ самъ по себѣ есть мертвое тѣло, которое только потому можетъ поглощать работу при сжатіи, что его уже колеблющимся частицамъ сообщается болѣе сильное движеніе. Такъ какъ это внутреннее движеніе частицъ есть теплота, то при сжатіи воздухъ нагрѣвается. Если эта теплота газа отнимается не чрезъ медленное охлажденіе, но чрезъ то,

что заставляютъ сжатый воздухъ дѣйствовать на движущійся поршень, преодолѣвающій нѣкоторое сопротивленіе, то теплота превращается въ работу и температура этого воздуха уменьшается вслѣдствіе отдачи силы и дѣлается такая же какъ была до сжатія. Работа всегда есть произведеніе изъ давленія на путь и если путь нуль, то и работа нуль. Поэтому только съ началомъ движенія начинается отдача силы. Но лишь только поршень пришелъ въ движеніе объемъ воздуха измѣняется, т. е. увеличивается или расширяется. Слѣдовательно отдача силы сжатаго воздуха возможна черезъ расширеніе при одновременномъ пониженіи его температуры.

147. Охлажденіе сжатаго воздуха вслѣдствіе отдаванія силы. Изъ предъидущаго слѣдуетъ, что не расширеніе само по себѣ понижаетъ температуру расширяющагося воздуха (отнимаетъ его теплоту), но исключительно отдаваемая во время расширенія механическая работа.

Если это объясненіе и эта связь между температурою воздуха, объемомъ его и пр. вѣрны, то сжатый воздухъ долженъ расширяться безъ пониженія температуры, какъ скоро расширеніе не сопровождается производствомъ механической работы. Это какъ нельзя лучше было подтверждено точными опытами; если сжатый воздухъ вытекаетъ изъ резервуара въ безвоздушное пространство, то при происходящемъ здѣсь расширеніи не замѣчается измѣненія температуры.

Послѣ объясненія этого важнаго обстоятельства очень легко понять процессъ при расширеніи сжатаго воздуха. Расширеніе входитъ только потому, что безъ него сжатый воздухъ не можетъ произвести работу. При этомъ температура воздуха зависитъ исключительно отъ величины отдаваемой механической работы. Если требуется получить чрезъ расширеніе холодъ (т. е. поглотить теплоту), то расширеніе должно идти при отдаваніи всей механической работы, соотвѣтствующей отношенію объемовъ.

148. Числовая величина охлажденія при расширеніи сжатаго воздуха съ отдачею силы. Искомая температура

$$T = \frac{T_1}{\left(\frac{p_1}{p}\right)^{0,2907}}$$ получается изъ формулы $$\frac{T_1}{T} = \left(\frac{p_1}{p}\right)^{0,2907}$$

Примѣръ. Пусть начальное давленіе 2 абс. атм., конечное давленіе 1 абс. атм.; начальная температура t, сжатаго воздуха=10°Ц. или T_1=273+10=283°Ц. абсолютная, то искомая абсолютная конечная температура послѣ окончанія расширенія.

$$T = \frac{283}{\left(\frac{2}{1}\right)^{0,2907}} = 231°\text{Ц. абсолютныхъ.}$$

А именно log 2=0,301 и log 1=нуль. Слѣд. log 2—log 1=0,301. Эта величина отъ умноженія на 0,2907 даетъ 0,0872; а этому логариему соотвѣтствуетъ число 1,22. Слѣдовательно $T = {}^{283}/_{1,22} = 231°$Ц абсолютныхъ или t=231—273=—42°Ц., т. е. 42°Ц. ниже нуля или какъ слѣдуетъ писать=273 42° абсолютныхъ.

Соотвѣтственно таблицѣ конечныхъ температуръ при сжатіи приводимъ здѣсь сопоставленіе охлажденія при расширеніи воздуха различныхъ давленій, если начальная температура при началѣ расширенія+10°Ц, (т. е. 273+10=283° абсолютныхъ).

Изъ таблицы видно, какъ сильно воздухъ охлаждается при расширеніи отъ высокихъ давленій до обыкновеннаго атмосфернаго давленія (при отдаваніи работы), что къ сожалѣнію образуетъ большое препятствіе при практическомъ примѣненіи воздуха для передачи силы. Какъ извѣстно въ настоящее время устраиваются ледяныя машины для искусственнаго полученія льда, которыя основаны на этомъ процессѣ охлажденія воздуха.

a) для 2 атм. абс. давл. и 10°Ц. начал. темп. $t = 273 - \left\{ \frac{273+10}{\text{чис.}\,[(\log 2 - \log 1)0{,}2907]} \right\} = 273 - \frac{283}{1{,}22} = -41^{\circ}\text{Ц}.$

b) для 3 атм. абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \left\{ \frac{273+10}{\text{чис.}\,[(\log 3 - \log 1)0{,}2907]} \right\} = 273 - \frac{283}{1{,}375} = -67^{\circ}\text{Ц}.$

c) для 4 атм. абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \left\{ \frac{273+10}{\text{чис.}\,[(\log 4 - \log 1)0{,}2907]} \right\} = 273 - \frac{283}{1{,}56} = -86^{\circ}\text{Ц}$

d) для 5 атм. абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \left\{ \frac{273+10}{\text{чис.}\,[(\log 5 - \log 1)0{,}2907]} \right\} = 273 - \frac{283}{1{,}59} = -95^{\circ}\text{Ц}.$

e) для 6 атм. абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \left\{ \frac{273+10}{\text{чис.}\,[(\log 6 - \log 1)0{,}2907]} \right\} = 273 - \frac{283}{1{,}68} = -104^{\circ}\text{Ц}.$

f) для 7 атм. абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \left\{ \frac{273+10}{\text{чис.}\,[(\log 7 - \log 1)0{,}2907]} \right\} = 273 - \frac{283}{1{,}76} = -112^{\circ}\text{Ц}.$

g) для 8 атм. абсол. давленія . . . . $t = 273 - \left\{ \frac{273-10}{\text{чис.}\,[(\log 8 - \log 1)0{,}2907)]} \right\} = 273 - \frac{283}{1{,}82} = -117^{\circ}\text{Ц}.$

h) для 9 атм. абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \frac{283}{1{,}89} = -123^{\circ}\text{Ц}.$

i) для 10 атм. абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \frac{283}{1{,}95} = -128^{\circ}\text{Ц}.$

k) для 11 атм абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \frac{283}{2} = -131^{\circ}\text{Ц}.$

l) для 12 атм абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \frac{283}{2{,}06} = -135^{\circ}\text{Ц}.$

m) для 15 атм абсол. давленія . . . . . $t = 273 - \frac{283}{2{,}19} = -142^{\circ}\text{Ц}.$

Отсюда видно, что уменьшеніе температуры при расширеніи сжатаго воздуха идетъ далеко не такъ быстро, какъ возвышеніе температуры при сжатіи. Напримѣръ при возрастаніи начальнаго давленія отъ 12 до 15 атм. конечная температура понижается только на 7°Ц., отъ 9 до 10 атм. на 5°Ц. вмѣсто 16° возвышенія температуры при увеличеніи давленія съ 9 до 10 атм. при сжатіи.

Вслѣдствіе этого обстоятельства можно примѣнять передачу силы помощію сжатаго воздуха при существенно болѣе благопріятныхъ условіяхъ, чѣмъ это было-бы въ противномъ случаѣ. Такъ какъ при передачѣ силы охлажденіе должно быть обойдено и для устраненія его должна быть подведена искусственная теплота, то необходимое количество горячей впрыскиваемой воды будетъ меньше и потеря, представляемая этою горячею впрыскиваемою водою, будетъ меньше, чѣмъ это должно было быть въ противномъ случаѣ. Количество горячей впрыскиваемой воды, необходимое при расширеніи работающаго сжатаго воздуха, можно существенно уменьшить еще тѣмъ, что заставляютъ циркулировать вокругъ цилиндра воду въ 12 до 18° Ц. (какъ она находится въ природѣ), которая однако должна возобновляться быстро во избѣжаніе слишкомъ сильнаго ея охлажденія.

149. Для облегченія вычисленій приводимъ таблицу величинъ для расчетовъ при сжатіи воздуха.

Таблица для расчета воздушныхъ компрессаторовъ.

A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	*I*	*K*	*L*	*M*
0	0	−274	∞	∞	− 1,03	—	—	—	—	—	—
0,25	191,5	82,5	274	413,4	0,783	—	—	—	—	—	—
0,50	234,2	39,8	167,5	206,7	0,533	—	—	—	—	—	—
0,75	263,3	10,7	125,5	137,8	0,283	—	—	—	—	—	—
1	286,3	+12,3	102,3	103,3	0,033	—	—	—	—	—	—
1,03	288,7	14,7	100	100	0	—	—	—	—	—	—
1,28	307,5	33,5	85,8	80,7	0,25	1,166	1,239	0,858	0,807	0,233	0,223
1,53	323,8	49,2	75,6	67,6	0,50	1,323	1,479	0,756	0,676	0,447	0,405
1,78	338,4	64,4	67,9	58,0	0,75	1,473	1,724	0,679	0,580	0,645	0,560
2,03	351,5	77,5	61,9	50,9	1	1.616	1,965	0,619	0,509	0,826	0,697
2,28	363,6	89,4	57,0	45,3	1,25	1,754	2,208	0,570	0,453	0,997	0,818
2,53	374,7	100,7	52,9	40,8	1,50	1,890	2,451	0,529	0,408	1,157	0,925
2,78	385,1	111,1	49,6	37,2	1,75	2,016	2,688	0,496	0,372	1,312	1,022
3,03	394,8	120,8	46,6	34,1	2	2,146	2,933	0,466	0,341	1,457	1,112
3,28	404,0	130,0	44,0	31,5	2,25	2,273	3,175	0,440	0,315	1,595	1,194
3,53	412,7	138,8	41,8	29,3	2,50	2,392	3,413	0,418	0,293	1,729	1,270
3,78	421,0	147,0	39,8	27,3	2,75	2,513	3,663	0,398	0,273	2,857	1,340
4,03	428,8	254,8	38,0	25,6	3	2,632	3,906	0,380	0,256	1,980	1,406
4,28	436,4	162,4	36,4	24,1	3,25	2,747	4,149	0,364	0,241	2,098	1,469
4,53	443,6	169,6	35,0	22,8	3,50	2,857	4,386	0,350	0,228	2,216	1,527
4,78	450,6	176,6	33,7	21.6	3,75	2,967	4,630	0,337	0,216	2,329	1,580
5,03	457,3	183,3	32,4	20,5	4	3,086	4,878	0,324	0,205	2,433	1,635
5,28	463,8	189,8	31,5	19,6	4,25	3,175	5,102	0,315	0,196	2,551	1,686
5,53	470,1	196,1	30,4	18,7	4,50	3,289	5,401	0,304	0,185	2,647	1,733
5,78	476,1	202,1	29,5	17,8	4,75	3,390	5,587	0,295	0,179	2,753	1,779
6,03	482,0	208,0	28,6	17,1	5	3,497	5,848	0,286	0,173	2,850	1,823
6,28	487,7	213,7	27,8	16,5	5,25	3,597	6,061	0,278	0,165	2,947	1,865
6,53	493,3	219,3	27,0	15,8	5,50	3,704	6,329	0,270	0,158	3,038	1,905
6,78	498,7	224,7	26,2	15,2	5,75	3,817	6,579	0,262	0,152	3,122	1,944
7,03	503,9	219,9	25,6	14,7	6	3,906	6,803	0,256	0,147	3,219	1,981

Столбецъ A: абсолютное конечное давленіе въ килограммахъ на квадратный сантиметръ;
„ B: соотвѣтствующая полная температура отъ абсолютнаго нуля;
„ C: отъ нуля Цельсія;
„ D: объемы сжатаго воздуха при перемѣнной температурѣ;
„ E: при постоянной температурѣ;
„ F: Избыточное давленіе;
„ G и H: отношеніе объема при атмосферномъ давленіи къ объему при давленіи столбца A и F, а именно G при перемѣнной, H при постоянной температурѣ;
„ I и K: дроби длины хода, при которыхъ достигаются требуемые давленія, I при перемѣнной K при постоянной температурѣ;
„ L: среднее избыточное давленіе въ клгр. на кв. снтмтр. поршня при перемѣнной, столбецъ M при постоянной температурѣ.

Нормальную температуру воздуха слѣдуетъ принимать въ 15° Цельсія.

Столбцы *A* и *F* даютъ въ тоже время давленіе въ атмосферахъ; величины столбцовъ *B*, *C*, *G*, *J* и *L* относятся къ сжатію по адіабатѣ, слѣдовательно безъ отведенія теплоты; столбцы *E*, *H*, *K* и *M* даютъ величины для сжатія по изотермѣ, т. е. при постоянной температурѣ.

При помощи величинъ столбцовъ *L* и *M* легко можно вычислить работу, которая необходима для сжатія по адіабатѣ и по изотермѣ; чтобы опредѣлить среднее давленіе на поршень нужно только величину его (въ

квадр. сантиметр.) умножить на соотвѣтствующія величины столбца L или M; произведеніе изъ этого средняго давленія на ходъ поршня будетъ теоретическая работа, которая должна быть употреблена во время одного хода поршня. При этомъ однако для всей таблицы предполагается сухой воздухъ; а также величины относятся только къ сжатію при умѣренной скорости.

Примѣръ. Въ Аироло поставлено 5 группъ по 3 компрессатора; діаметръ цилиндровъ 0,46 м. и ходъ поршня 0,45 м.; онѣ сжимаютъ всасываемый воздухъ до 6 атм. избыточнаго давленія. Число оборотовъ вала съ кривошипами 90 въ минуту. Какой объемъ воздуха доставляетъ 1 группа въ 24 часа и какая употребляется для этого сила, предполагая, что сжатіе происходитъ 1) при постоянной и 2) при перемѣнной температурѣ; въ послѣднемъ случаѣ по закону Пуассона.

Для одного компрессатора вычисляемъ слѣдующія величины:

Площадь поршня=0,16619 кв. м.; всасываемый объемъ воздуха при одномъ ходѣ поршня 0,16619 . 0,45=0,0748 куб. м. А въ минуту 0,0748 . 2 . 90=13,46 куб. м.

По столбцу E таблицы объемъ воздуха при 6 атм. избыточнаго давленія относится къ объему при 0 атм. избыточнаго давленія, какъ 14,7 : 100; поэтому количество сжатаго воздуха въ 1 минуту и при постоянной температурѣ (15°Ц.)

13,46 . 14,7 : 100=1,981 куб. м.

При перемѣнной температурѣ (по закону Пуассона) по столбцу D получимъ

13,46 . 25,6 : 100=3,446 куб. м.

Температура этого воздуха по столбцу C будетъ 229,9°Ц.

Среднее избыточное давленіе на площадь поршня при постоянной температурѣ по столбцу M

1,981 . 0,1662 . 10000=3292 клгр.

при перемѣнной температурѣ по столбцу L

3,219 . 0,1662 . 10000=5350 клгр.

Движущая работа вычисляется для 1 оборота и въ 1 секунду

при постоянной темпер. 3292.0,45.2=2963 клгрмтр. $\frac{2963.90}{60.75}$=59,3 Л. С.

„ перемѣнной „ 5350.0,45.2=4815 „ $\frac{4815.90}{60.75}$=96,3 Л. С.

Теоретическое количество воздуха, доставляемое въ 24 часа одною группою изъ 3 компрессаторовъ

при постоянной температурѣ 1, 98 . 60 . 24 . 3= 8554 куб. м.
„ перемѣнной „ 3,446 . 60 . 24 . 3=14887 „ „

Теоретическая движущая работа для одной группы

при постоянной температурѣ 59,3 . 3=178 Л. С.
„ перемѣнной „ 96,3 . 3=289 Л. С.

150. Передача силы посредствомъ сгущеннаго воздуха. Для устройства передачи силы помощію сжатаго воздуха необходимы слѣдующія главныя части: 1) воздушный компрессаторъ вмѣстѣ съ движущею машиною 2) трубопроводъ съ резервуаромъ для воздуха 3) воздушный двигатель для движенія машинъ-орудій. Въ компрессаторѣ воздухъ сжимается до желаемаго давленія. Сжатый воздухъ сохраняется въ резервуарахъ и изъ нихъ проводится трубами къ воздушнымъ двигателямъ, въ которыхъ онъ дѣйствуетъ въ видѣ рабочаго вещества на поршень, движеніе коего передается двигаемымъ рабочими машинами.

I. Воздушные компрессаторы. Для полученія сжатаго воздуха, который примѣняется для передачи силы на дальнія разстоянія, употребляются почти исключительно воздушные компрессаторы, въ принципѣ совершенно подобные

цилиндрическимъ воздуходувкамъ, но отличающіеся отъ нихъ болѣе высокимъ давленіемъ получаемаго воздуха. Конструкція воздушныхъ компрессаторовъ есть въ сущности конструкція поршневаго насоса: поршень, движущійся впередъ и назадъ въ цилиндрѣ, всасываетъ воздухъ атмосфернаго давленія черезъ всасывающіе вентили; при обратномъ ходѣ поршень сжимаетъ всосанный воздухъ, при чемъ его давленіе и температура возрастаетъ; когда давленіе достигаетъ величины давленія въ нагнетательныхъ трубахъ, примыкающихъ къ цилиндру, то открываются нагнетательные вентили и сжатый воздухъ выталкивается поршнемъ въ трубы. Обыкновенно воздушные компрессаторы строятся двойнаго дѣйствія, такъ что всасываніе и сжатіе воздуха совершается на обѣихъ сторонахъ поршня. Далѣе для этихъ машинъ избирается почти всегда лежачее положеніе, т. е. цилиндръ строится съ горизонтальною осью. Всасывающія и нагнетательныя отверстія въ цилиндрѣ снабжаются большею частью автоматически открывающимися вентилями или клапанами, закрываніе коихъ часто дѣлается давленіемъ пружины. Такъ какъ для открыванія и удерживанія открытымъ самодѣйствующаго вентиля, независимо отъ преодолѣваемаго давленія пружины, всегда необходимо нѣкоторое избыточное давленіе, то всасывающіе вентили открываются лишь тогда, когда—вслѣдствіе движенія поршня впередъ—въ цилиндрѣ произошло расширеніе воздуха и его упругость на названное избыточное давленіе сдѣлалось меньше давленія внѣшняго воздуха. Для избѣжанія происходящей отсюда потери работы въ нѣкоторыхъ болѣе новыхъ конструкціяхъ воздушныхъ компрессаторовъ дѣйствіе вентилей дѣлается связаннымъ съ движеніемъ поршня, т. е. вентили распредѣляются. Въ новѣйшее время Буркгардтъ и Вейсъ въ Базелѣ, Вегелинъ и Гюбнеръ въ Галлѣ построили компрессаторы, которые имѣютъ вмѣсто вентилей золотникъ съ отливнымъ каналомъ, движущійся въ зависимости отъ машины.

а) Искусственное охлажденіе. Изъ предъидущаго видно, что расходъ работы при сжатіи по адіабатѣ больше, нежели по изотермѣ; кромѣ того сильное нагрѣваніе воздуха имѣетъ слѣдствіемъ нагрѣваніе цилиндра, поршня и пр.; а отъ этого 1) нарушается плотность поршня, сальниковъ и вентилей и затрудняется смазка рабочихъ частей 2) воздухъ при входѣ въ цилиндръ нагрѣвается около горячихъ его стѣнокъ, расширяется и получается потеря вѣса воздуха, перемѣщаемаго въ теченіи хода поршня. Поэтому въ компрессаторахъ всегда устраивается охлажденіе водою; различаютъ поверхностное и внутреннее охлажденіе. При первомъ цилиндръ окружается водяною рубашкою, при чемъ вода охлаждаетъ стѣнки, а иногда и крышки цилиндра, и даже поршень и его стержень; при этомъ охлаждающая вода не соприкасается съ воздухомъ, вслѣдствіе чего такіе компрессаторы называются сухими.

При внутреннемъ охлажденіи вода вводится внутрь цилиндра. Либо заставляютъ нѣкоторое количество воды входить въ цилиндръ вмѣстѣ съ всасываемымъ воздухомъ; либо вбрызгиваютъ ее постоянно или только въ періодѣ сжатія въ формѣ пыли, при чемъ пульверизаторы ставятся въ крышкѣ цилиндра; либо проводятъ воду подъ давленіемъ черезъ полый стержень въ поршень и изъ него она выходитъ на окружности. Компрессаторы съ однимъ изъ этихъ 3 родовъ внутренняго охлажденія называются полумокрыми.

Послѣдній родъ внутренняго охлажденія состоитъ въ томъ, что цилиндръ остается постоянно наполненнымъ водою, такъ что поршень дѣйствуетъ не непосредственно на воздухъ но помощію столба воды, который онъ долженъ перемѣщать передъ собою; такіе компрессаторы называются мокрыми.

b) Выгоды и неудобства разныхъ родовъ охлажденія. Въ сухихъ компрессаторахъ, имѣющихъ только поверхностное охлажденіе, дѣйствіе охлажденія зависитъ отъ количества охлаждающей воды и отъ времени, въ теченіе коего воздухъ остается въ соприкосновеніи съ охлаждающею поверхностію. Безразлично—какимъ способомъ проводится вода кругомъ цилиндра; температура охлаждающей поверхности всегда бываетъ только на нѣсколько градусовъ выше температуры охлаждающей воды. Такъ какъ охлажденіе также возрастаетъ съ продолжительностію соприкосновенія воздуха и охлаждающей поверхности, то небольшія скорости поршня были бы выгоднѣе; но такъ какъ онѣ даютъ большіе размѣры машинъ, то стараются достичь возможно большей скорости поршня и довольствуются меньшимъ полезнымъ дѣйствіемъ машины, происходящимъ отъ несовершеннаго охлажденія. Полумокрые и мокрые компрессаторы даютъ влажный воздухъ, такъ какъ дѣйствіе охлажденія основывается на связываніи теплоты, происходящемъ при испареніи воды. Если теперь употребить такой влажный сжатый воздухъ для движенія рабочихъ машинъ, въ которыхъ онъ дѣйствуетъ чрезъ расширеніе, т. е. раціонально, то вслѣдствіе происходящаго при этомъ связыванія теплоты водяной паръ, примѣшанный къ воздуху, застываетъ въ ледъ, а послѣдній можетъ имѣть слѣдствіемъ полное замерзаніе рабочей машины. Поэтому при употребленіи компрессаторовъ съ внутреннимъ охлажденіемъ необходимо высушивать сжатый воздухъ или же подогрѣвать его при отдачѣ силы.

Компрессаторы съ впрыскивательнымъ охлажденіемъ даютъ почти полное отниманіе теплоты сжатія и простую конструкцію; но, кромѣ упомянутой невыгоды, впрыскивающее приспособленіе требуетъ вполнѣ чистую воду, ибо иначе отверстія онаго быстро затягиваются. Отнятіе теплоты всего менѣе достигается въ тѣхъ компрессаторахъ, въ коихъ небольшее количество охлаждающей воды просто впускаютъ въ цилиндръ вмѣстѣ съ всасываемымъ воздухомъ. Лучше дѣйствуютъ мокрые компрессаторы съ постояннымъ наполненіемъ цилиндра водою; однако и здѣсь встрѣчается невыгода влажнаго воздуха; далѣе эти машины имѣютъ то неудобство что для избѣжанія водяныхъ ударовъ и разбрызгиванія воды онѣ могутъ ходить лишь медленно; поэтому такіе мокрые компрессаторы получаются большіе, тяжелые и дорогіе.

Недостатокъ всѣхъ компрессаторовъ съ внутреннимъ охлажденіемъ и особенно полумокрыхъ состоитъ еще въ томъ, что вода (и въ особенности если къ ней ради смазыванія прибавляется масло) разъѣдаетъ стѣнки цилиндра и поршень, такъ что послѣдній дѣлается неплотнымъ, производительность машины уменьшается и требуются починки, какъ то пересверливаніе цилиндра и вставка новыхъ поршневыхъ колецъ. Въ сухихъ компрессаторахъ, напротивъ, держатся хуже вентили или клапаны, а также уплотненія вслѣдствіе болѣе высокой температуры воздуха, а отъ этого происходитъ потеря работы.

Большая выгода всѣхъ компрессаторовъ съ внутреннимъ охлажденіемъ состоитъ въ томъ, что можно почти вполнѣ устранить вліяніе вреднаго пространства (которое ни въ какой машинѣ не дѣйствуетъ столь вредно, какъ въ компрессаторѣ) ибо охлаждающая вода заполняетъ оное. Для этого количество охлаждающей воды должно быть достаточно велико, чтобы въ концѣ хода поршня ею наполнялось не только вредное пространство, т. е. между поршнемъ и вентилями, но чтобъ еще небольшое количество воды выдавливалось чрезъ нагнетательные вентили въ нагнетательный воздухопроводъ. Эта вода потомъ собирается въ водяномъ мѣшкѣ, изъ коего она снова подводится къ впрыскивающему приспособленію или къ всасывающимъ вентилямъ дѣйствіемъ сжатаго воздуха находящагося въ нагнетательномъ воздухопроводѣ.

c) Коэффиціентъ объема. Теоретическое количество воздуха, которое всасывается поршнемъ компрессатора при одномъ ходѣ, $= FE$, или F площадь поршня и l ходъ его. Если стержень поршня движется отъ мотыля, совершающаго въ минуту n оборотовъ, то теоретическое количество воздуха, которое всасывается въ секунду:

$$Q = Fl \frac{n}{30}$$ въ двудѣйствующихъ компрессаторахъ

$$Q = Fl \frac{n}{60}$$ въ однодѣйствующихъ „ .

Это всосанное количество воздуха теоретически имѣетъ температуру и давленіе воздуха всасывающаго пространства. Но въ дѣйствительности всасывается меньшее количество воздуха и ему то соотвѣтствуетъ нагнетенное въ воздухопроводъ количество сжатаго воздуха. Отношеніе количества воздуха, дѣйствительно всосаннаго при одномъ ходѣ поршня, къ теоретическому называется коэффиціентомъ объема. Онъ зависитъ отъ плотности поршня и вентилей, отъ возвышенія температуры всасываемаго воздуха чрезъ нагрѣваніе о стѣнки цилиндра, далѣе отъ скорости поршня, отъ величины всасывающихъ вентилей и отъ сопротивленій, испытываемыхъ входящимъ воздухомъ; но главнымъ образомъ отъ величины вреднаго пространства.

d) Вліяніе вреднаго пространства на коэффиціентъ объема. Разсмотримъ теперь—какую величину имѣлъ бы коэффиціентъ объема, если бы онъ уменьшался единственно отъ вреднаго пространства, т. е. если бы поршень и вентели держали совершенно плотно, а открываніе послѣднихъ совершалось въ точности за моментъ перемѣны хода. Пусть x обозначаетъ путь поршня въ теченіе коего сжатый воздухъ, оставшійся во вредномъ пространствѣ, препятствуетъ вслѣдствіе своего расширенія всасыванію свѣжаго воздуха; тогда за весь ходъ поршня вновь будетъ всасываться только объемъ воздуха $= F(l-x)$, который и сжимается при обратномъ ходѣ поршня и нагнетается въ воздухопроводъ. Слѣдовательно коэффиціентъ объема, обусловливаемый единственно вреднымъ пространствомъ будетъ, $= \frac{l-x}{l} = 1 - \frac{x}{l}$. Для опредѣленія x необходимо знать законъ расширенія сжатаго воздуха въ цилиндрѣ. Раньше было сказано, что для этого въ точности не годится ни законъ Маріотта, ни

законъ Пуассона; дѣйствительно происходящее измѣненіе состоянія однако же совершается почти по первому, такъ какъ расширяющійся воздухъ, находясь въ соприкосновеніи съ стѣнками цилиндра и поршня, сохраняетъ почти постоянную температуру. При этомъ практически допускаемомъ предположеніи, т. е. что расширеніе въ теченіе хода поршня x происходитъ по закону Маріотта, будетъ $\frac{x+m}{m} = \frac{p_2}{p_5}$, если вредное пространство на одной сторонѣ поршня обозначимъ mF, конечное давленіе сжатаго воздуха черезъ p_2 и давленіе всасыванія черезъ p_s. Поэтому $x = m\,\frac{p_2 - p_s}{p_s}$ и коэффиціентъ объема $= 1 - \frac{m}{l}\,\frac{p_2 - p_s}{p_s}$. Поэтому вліяніе вреднаго пространства на коэффиціентъ объема увеличивается съ величиною вреднаго пространства и съ конечнымъ давленіемъ; если $m/l = 1/20$ и $p_s = 1$ (давленіе въ атмосф.)

то коэффиціентъ объема $=$	0	0,5	0,75	0,9	0,95
при $p_2 =$	21	11	6	3	2

Но въ дѣйствительности коэффиціентъ объема бываетъ еще меньше вслѣдствіе дальнѣйшихъ прежде указанныхъ давленій.

Вредное пространство можно уменьшить точною работою и тщательною сборкою а также соотвѣтственнымъ расположеніемъ вентилей; промежутокъ между поршнемъ и крышкою цилиндра при концѣ хода можно свести на 1 мм. до 3 мм. Вслѣдствіе этого вредное пространство уменьшается до $1/20$ объема цилиндра и менѣе. Если при этомъ возможно избѣгаются другія вредныя вліянія, то коэффиціентъ объема

въ сухихъ и полумокрыхъ компрессаторахъ	0,7 до 0,8;
въ мокрыхъ „ „	0,8 до 0,9.

Эти числа годны тогда, когда распредѣленіе совершается самодѣйствующими вентилями. Профессоръ Вельнеръ предложилъ сжатый воздухъ вреднаго пространства перепускать въ концѣ хода поршня на другую сторону поршня, т. е. получить въ этотъ моментъ выравниваніе давленія. Расположеніе для этого состоитъ въ томъ, что на концѣ цилиндра въ его стѣнкахъ оставляются каналы, которые производятъ это перетеканіе. Черезъ это вліяніе вреднаго пространства почти уничтожается, но являются другія неудобства, которыя уменьшаютъ достигаемую выгоду. Существенное неудобство состоитъ въ томъ, что это выравниваніе давленія происходитъ не только въ моментъ конца хода, но уже нѣсколько прежде сжатый воздухъ переходитъ на всасывающую сторону, съ чѣмъ понятно соединены потери воздуха и работы.

Выравниваніе давленія при концѣ хода съ избѣжаніемъ этого недостатка въ новѣйшее время пробовали достичь Буркгардтъ и Вейсъ въ Базелѣ черезъ употребленіе распредѣляемаго золотника съ отливнымъ каналомъ. Основная мысль этого устройства слѣдующая: Распредѣленіе дѣлается коробчатымъ золотникомъ, въ которомъ отлитъ узкій каналъ который при среднемъ положеніи золотника соединяетъ обѣ стороны цилиндра одна съ

другою, что происходитъ при каждой перемѣнѣ хода. Самое устройство описано дальше, здѣсь только замѣтимъ, что опыты съ такими машинами дали коэффиціентъ объема 0,9 и больше; вредное пространство составляетъ $^1/_{25}$ до $^1/_{20}$ объема цилиндра.

е) Расходъ работы компрессаторовъ и полезное дѣйствіе ихъ. Теоретическая работа получится, если въ формулы параграфовъ 145 и 146 вмѣсто v подставить объемъ цилиндра Fl; если надо вычислить работу, которая должна быть развита въ 1 секунду, то въ формулы подставляется вмѣсто v объемъ, теоретически всасываемый въ секунду. Но эти вычисленія уже не годятся, если воздухъ смѣшанъ съ водянымъ паромъ т. е. влажный. Въ этомъ случаѣ пусть для начала и конца сжатія

p и p_2 удѣльное давленіе воздуха, насыщеннаго водянымъ паромъ;
p' и p'_2 „ „ насыщеннаго водяного пара
$p-p'$ и $p_2-p'_2$ „ „ воздуха

γ и γ_2 вѣсъ единицы объема насыщающаго водяного пара
r и r_2 удѣльная теплота парообразованія
$T-T_2$ абсолютная начальная и конечная температура смѣси

Предполагая, что воздухъ постоянно насыщенъ водянымъ паромъ, всегда имѣетъ одинаковую температуру съ имѣющеюся жидкою и парообразною водою и что въ концѣ сжатія находится только вода въ парообразномъ состояніи, имѣемъ:

$$\text{log. nat.}\left(p_2-p'_2\right)=\frac{k}{k-1}\ \text{log. nat.}\ \frac{T_2}{T}+\text{log. nat.}\left(p-p'\right)-$$

$$-\frac{r\gamma}{A(p-p')}+\frac{\gamma_2}{A(p_2-p'_2)}\left(r_2+T_2\ \text{log. nat}\ \frac{T_2}{T}\right)$$

гдѣ $A=^1/_{424}$ механическій эквивалентъ теплоты. Изъ этой формулы можно вычислить конечное давленіе p_2 или дана конечная температура T_2 или наоборотъ опредѣлить T_2 когда дано p_2.

Для вычисленія работы, которую должно употребить для сжатія и перемѣщенія 1 клгр. сжатаго воздуха служитъ формула

$$L'=\frac{a}{A}(T_1-T)+\frac{a-a_2}{A^2}\left[\frac{T_2\gamma_2}{p_2-p'_2}(r_2+T_2-T)-\frac{rT\gamma}{p-p'}\right];$$

а количество вбрызгиваемой воды, необходимое на 1 клгр. воздуха, въ клгр. будетъ:

$$J=\frac{1}{A}\frac{a-a_2}{p_2-p'_2}T_2\gamma_2;$$

въ этихъ формулахъ a обозначаетъ удѣльную теплоту воздуха при постоянномъ давленіи и a_2 удѣльную теплоту при постоянномъ объемѣ.

По этимъ формуламъ вычислены слѣдующія таблицы. Начальная температура T постоянно принималась въ $273+20^0$ и начальное давленіе въ 1 атм.

Конечное давленіе p_2 въ атм.	Конечная температура T_2. для сухаго воздуха.	для насыщен. воздуха.	Конечное давленіе p_2 въ атм.	Конечная температура T_2. для сухаго воздуха.	для насыщен. воздуха.
2	273+ 85,2	273+44	5	273+194,2	273+75,3
3	+129,9	+57,5	6	+219,6	+81,8
4	+164,9	+67,6	7	+262,4	+87,2

Оказывается, что нагрѣваніе при сжатіи значительно меньше при насыщенномъ, нежели при сухомъ воздухѣ.

Конечная температура T_2.	Конечное давленіе p_2. въ клгр. на 1 кв. м. м.	въ атм.	Работа L' на 1 клгр. воздуха въ клгрмтр. при сухомъ воздухѣ.	при насыщ. возд.	Впрыскиваемое количество l воды на 1 клгр. сжатаго воздуха въ клгр.
273+30	13628	1,319	2497	2537	0,020
+40	18166	1,759	5356	5297	0,027
+50	24408	2,363	8515	8216	0,034
+60	33059	3,200	12060	11354	0,042
+70	43987	4,258	15700	14411	0,050
+80	58628	5,676	19680	17628	0,058
+90	77506	7,503	23,890	20825	0,066

Работа L' будетъ, стало быть, почти одинакова при насыщенномъ и сухомъ воздухѣ.

Для компрессаторовъ съ выравниваніемъ давленія, какъ строитъ ихъ Буркгардтъ и Вейссъ, имѣемъ слѣдующее выраженіе теоретической работы для сжатія при постоянной температурѣ:

$$L''=Fx_2\left(1+\frac{m}{1+m}\frac{p_2}{p}\right)\text{log. nat.}\frac{\left(1+\frac{m}{1+m}\right)\frac{p_2}{p}}{1+\frac{m}{1+m}\frac{p_2}{p}},\text{ гдѣ }\frac{m}{1+m}=\text{почти }0{,}07.$$

Сравнительно съ компрессаторами безъ выравниванія давленія затрачиваемая работа будетъ нѣсколько больше; но такъ какъ коэффиціентъ объема компрессаторовъ съ выравниваніемъ давленіемъ значительно больше, чѣмъ компрессаторовъ безъ таковаго, то для первыхъ получается все-таки меньшій расходъ работы для одного и того же количества доставленнаго сжатаго воздуха.

Дѣйствительный расходъ работы компрессатора составляется изъ теоретической работы (L или L' или L'') по изотермѣ и изъ потерь работы: 1) отъ возвышенія температуры при сжатіи 2) отъ сопротивленія при проходѣ воздуха черезъ органы распредѣленія (вентили, клапаны, золотники) и 3) отъ тренія въ машинѣ. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія γ есть отношеніе теоретической работы къ дѣйствительной;

по Кребсу для среднихъ давленій отъ 3 до 4 атм. (абсол.) и малыхъ скоростей . . . . . $\gamma=0{,}70$
для давленій отъ 6 до 7 атм. (абсол.) и большихъ скоростей $\gamma=0{,}55$
при впрыскиваніи воды въ видѣ пыли . . . . . $\gamma=0{,}70$
для компрессатора Буркгардта при 3,5 до 6,5 атм. (абсол.) и для большихъ скоростей . . . . . $\gamma=0{,}65$

f) Конструкція компрессаторовъ. Сухіе компрессаторы. При нихъ охлажденіе или совсѣмъ не примѣняется или же дѣлается водою, двигающеюся кругомъ цилиндра, для чего онъ снабжается охлаждающею рубашкою; охотно дѣлаютъ также охлажденіе крышки, поршня и его стержня протекающею водою, но всегда имѣется только поверхностное охлажденіе. Такіе компрессаторы въ новѣйшее время употребляются часто, ибо они дозволяютъ болѣе быстрый ходъ, чѣмъ мокрые и полумокрые; при одинаковой производительности имѣютъ меньшіе размѣры и будутъ дешевле. А чрезъ связанное распредѣленіе получили увеличеніе полезнаго дѣйствія сухихъ компрессаторовъ даже въ болѣе старыхъ конструкціяхъ.

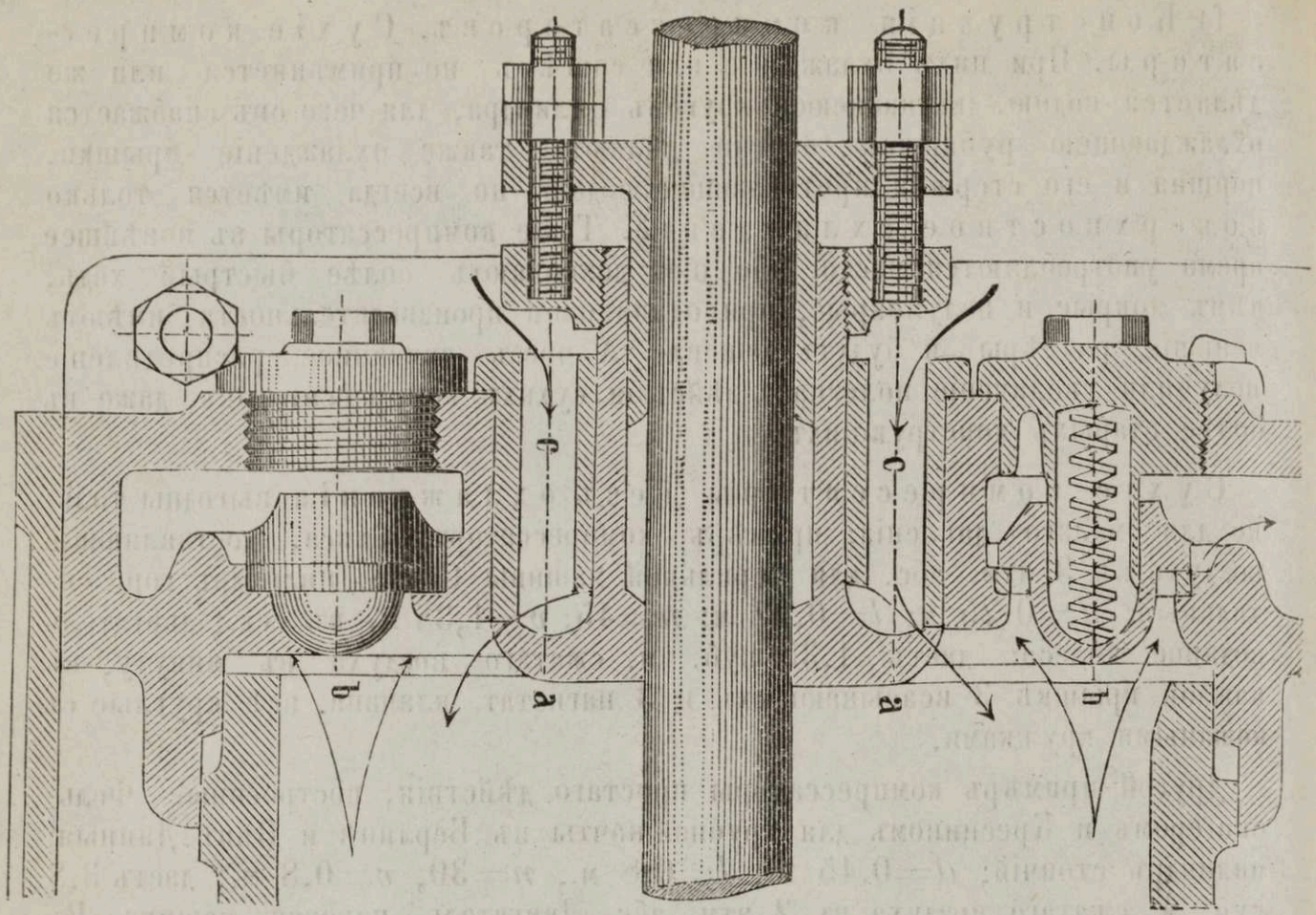
Сухіе компрессаторы безъ охлажденія выгодны только для малаго давленія; примѣръ компрессаторъ Сакса, доставляющій воздухъ въ 3 атм. абс. для бурильной машины Сакса; цилиндръ горизонтальный; d=0,25 м; l=0,92 м; n=45; v=1,38 м. въ сек.; двигатель водяное колесо; даетъ 1,35 куб. м. сжатаго воздуха въ минуту; въ каждой крышкѣ 3 всасывающихъ и 3 нагнетат. клапана, всѣ круглые съ кожаными кружками.

Другой примѣръ компрессаторы простаго дѣйствія, построенные Фельбингеромъ и Креспиномъ для трубной почты въ Берлинѣ и Вѣнѣ. Данныя: цилиндръ стоячій; d=0,45 м.; l=0,8 м., n=30; v=0,8 м.; даетъ 3,8 куб. м. сжатаго воздуха въ 2 атм. абс. Двигатель паровая машина. Въ видѣ всасывающихъ и нагнетательныхъ вентилей употреблены каучуковые кружочки, лежащіе для первой цѣли на дырчатой крышкѣ цилиндра, для второй на дырчатомъ поршнѣ и укрѣпленные въ срединѣ.

Сухіе компрессаторы съ поверхностнымъ охлажденіемъ новѣйшей конструкціи всегда снабжаются распредѣляемыми вентилями или золотниками. Напримѣръ компрессаторъ Стерджена въ Лидсѣ имѣетъ связанное движеніе всасывающаго вентиля, который (фиг. 474) содержитъ въ то же время сальникъ. Этотъ сальникъ увлекается стержнемъ поршня при каждой перемѣнѣ хода вслѣдствіе тренія; чрезъ это происходитъ съ одной стороны открываніе концеваго всасывающаго отверстія c, а съ другой—его закрываніе. Такъ какъ скорость стержня поршня въ сосѣдствѣ съ мертвыми точками уменьшается, то не происходятъ замѣтные удары при посадкѣ всасывающаго вентиля даже при большомъ числѣ оборотовъ. Нагнетательные вентили b окружаютъ всасывающій вентиль концентрически въ каждой крышкѣ цилиндра; дутьепроводъ примыкаетъ къ полой крышкѣ. Компрессаторъ отличается большою скоростью поршня отъ 0,66 до 2,24 м. въ секунду при 65 до 220 двойныхъ ходахъ въ минуту.

Связанное движеніе всасывающаго вентиля имѣется также въ компрессаторѣ Менкъ и Гамброкъ; металлическіе всасывающіе вентили открываются помощію золотника, насаженнаго на стержень поршня; закрываніе дѣлается давленіемъ пружины.

Соединеніе впускныхъ и выпускныхъ органовъ въ одинъ залотникъ, который движется связанно, въ новѣйшее время встрѣчается въ нѣсколькихъ конструкціяхъ компрессаторовъ. Такъ Алленъ въ Нью-Іоркѣ построилъ коммпрессаторъ, въ которомъ золотникъ, двигаемый эксцентрикомъ, имѣетъ



фиг. 474.

на спинкѣ каучуковый клапанъ, который дозволяетъ удаленіе сжатаго воздуха въ золотничную коробку или же въ дутьепроводъ, идущій отъ нея. Вслѣдствіе этого открываніе и запираніе всасывающаго пространства, а также запираніе нагнетательнаго пространства совершаются принужденно, напротивъ открываніе для выхода сжатаго воздуха самодѣйствующее. Большое вредное пространство, получающееся черезъ употребленіе золотника, должно заполняться жидкостью, напр. масломъ, водою или водою и содою, которая служитъ въ тоже время и для смазки и охлажденія горячихъ машинныхъ частей. Въ золотничной коробкѣ находится сосудъ, въ которомъ эта жидкость стоитъ постоянно подъ давленіемъ сжатаго воздуха; въ періоды всасыванія и сжиманія она входитъ въ цилиндръ по трубкѣ въ количествѣ, регулируемомъ помощію кранта, а подъ конецъ снова выталкивается вмѣстѣ сжатымъ воздухомъ и изъ золотничной коробки опять вливается въ сосудъ.

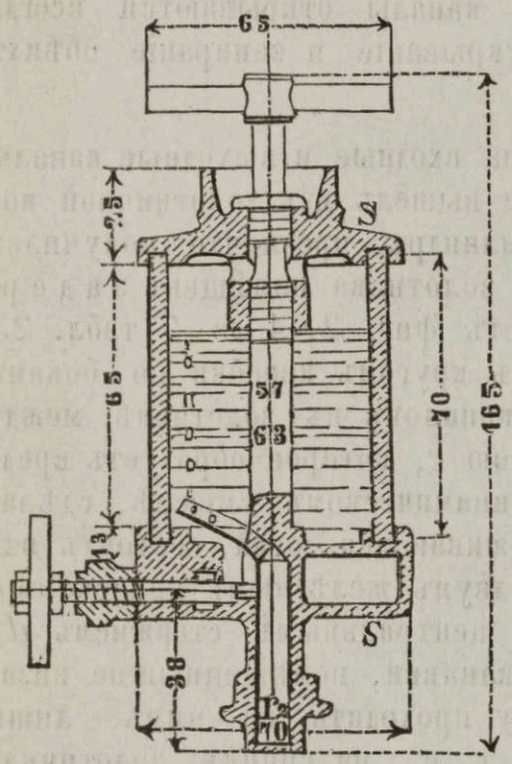
Употребленіе распредѣляемаго золотника имѣется далѣе въ компрессаторѣ Буркгардта и Вейса въ Базелѣ. Конструкція видна на таб. 23 и замѣчательна тѣмъ, что примѣнено выравниваніе давленія, слѣдовательно устранено вліяніе вреднаго пространства. Распредѣленіе производится помощію коробчатаго золотника, который движется отъ эксцентрика на маховомъ валѣ; послѣдній опережаетъ мотыль на 90°. Въ коробчатомъ золотникѣ отлитъ каналъ, который въ среднемъ положеніи золотника соединяетъ обѣ стороны цилиндра одну съ другою. Но это среднее положеніе наступаетъ при каждой перемѣнѣ хода, т. е. при всякомъ мертвомъ положеніи поршня; поэтому послѣ каждаго хода воздухъ, спрессованный поршнемъ во вредномъ пространствѣ, перетекаетъ на заднюю его сторону,

тогда какъ на противоположной сторонѣ поршня, которая теперь сдѣлалась всасывающею стороною, давленіе уже при началѣ хода понизилось до давленія во всасывающемъ пространствѣ, такъ какъ здѣсь новый воздухъ будетъ всасываться уже отъ начала хода. Наружныя а также внутреннія перекрытія золотника выбраны таковыми, что при движеніи золотника отливной каналъ уже запирается золотничнымъ зеркаломъ, когда наружныя или внутреннія грани золотничныхъ лапокъ снова открываютъ каналы для впуска или выпуска воздуха. Отсюда слѣдуетъ, что пространство, изъ котораго компрессаторъ всасываетъ, никогда не можетъ находиться въ сообщеніи съ нагнетательнымъ пространствомъ, чрезъ это происходила бы потеря воздуха. Далѣе внутреннее перекрытіе сдѣлало равнымъ наружному; вмѣстѣ съ тѣмъ впускные и выпускные каналы открываются всегда одновременно на одинаковую ширину и открываніе и запираніе обѣихъ происходятъ одновременно.

Чтобы при перемѣнѣ хода золотника, когда входные и выходные каналы снова открываются, сжатый уже воздухъ не вышелъ изъ золотничной коробки черезъ выходной каналъ назадъ въ цилиндръ, чрезъ что получился бы безполезный расходъ работы, на спинкѣ золотника помѣщенъ задерживающій вентиль. Какъ указываетъ фиг. 2, 4 до 7 табл. 23 отлитый компенсаціонный каналъ b обведенъ кругомъ коробки по бокамъ дабы пространство воздушновыпускныхъ каналовъ въ золотникѣ между зеркаломъ золотника и задерживающею доскою c, которое образуетъ вредное пространство не въ объемномъ, а въ динамическомъ смыслѣ, сдѣлалось повозможности незначительно. Задерживающая доска состоитъ изъ плоской чугунной плитки, подвѣшенной къ двумъ желѣзнымъ полоскамъ c (фиг. 5 и 6) и направляемой безъ тренія центральнымъ стержнемъ d. Поверхность сѣдла и низъ плитки имѣютъ канавки, помѣщенныя не визави однѣ съ другими, но дозволяющія воздуху проходить по нимъ, лишь только плитка не лежитъ на своемъ сѣдлѣ т. е. на спинкѣ золотника, что даетъ большую площадь для прохода воздуха при очень маломъ ходѣ плитки. Двѣ винтовыя пружины c окружаютъ центральный стержень d; наружная прижимаетъ плитку къ ея сѣдлу; внутренняя пружина дѣйствуетъ на колпачекъ, служащій для ограниченія хода, дабы избѣжать удара при посадкѣ плитки. Ходъ задерживающей плитки принимается въ 3 мм. Когда поршень почти достигаетъ конца своего хода, то наружныя и внутреннія грани золотничныхъ лапокъ запираютъ впускные и выпускные каналы цилиндра; вслѣдствіе этого наступаетъ состояніе покоя въ нагнетательныхъ каналахъ золотника и продолжается до тѣхъ поръ, пока золотничныя лапки отодвинутся за каналы цилиндра на столько, что внутреннія и наружныя грани онаго снова открываются. Во время этого покоя задерживающая плитка закрывается, такъ что запираніе совершается плавно, потому что сжатый воздухъ сначала начинаетъ давить на плитку, если она уже закрыта.

При этихъ компрессаторахъ сначала употреблялось охлажденіе водою, протекающею кругомъ цилиндра; въ новѣйшее время охлаждаются и крышки и воздушные каналы a (фиг. 2). Вода входитъ снизу и выходитъ наверху. Эти поверхности охлажденія не имѣются въ компрессаторахъ съ клапанами, ибо въ нихъ днища утилизируются для сѣделъ клапановъ.

Компрессаторъ снабжается особымъ приспособленіемъ для смазки, при которомъ при каждомъ ходѣ вталкивается въ цилиндръ нѣкоторое количество масла соотвѣтственно положенію регулирующаго винта. Смазка золотника совершается черезъ то, что при лежачемъ цилиндрѣ, на которомъ золотникъ лежитъ сверху, золотничная коробка наполняется масломъ выше поверхностей скольженія, такъ что золотникъ движется постоянно въ маслѣ; пробный крантъ указываетъ уровень масла; доливаніе масла дѣлается помощію обыкновенной цилиндровой масленки съ двумя крантами. Если же золотникъ помѣщается съ боку на стоячемъ или лежачемъ цилиндрѣ и движется горизонтально, то упомянутое смазочное приспособленіе примѣняется особеннымъ способомъ. На фиг. 4 видно, что масленки E и E' поставлены на цилиндрѣ и на распредѣлительной коробкѣ. Эти масленки состоятъ изъ резервуара, наполненнаго масломъ и закрытаго винтовою крышкою; нижнее отверстіе (для расходованія) прикрыто подвижнымъ остріемъ винта, который такъ регулируется, чтобы масло выходило только при ходѣ компрессатора. Когда поршень начинаетъ двигаться, получается разность давленій воздуха спереди и сзади его; на сторонѣ сжатія сгущенный воздухъ проникаетъ внутрь маслянаго резервуара, а лишь только поршень прошелъ, этотъ воздухъ выталкиваетъ небольшое количество масла въ цилиндръ. Очевидно, что это есть родъ маленькаго насоса безъ подвижныхъ частей, который заставляетъ масло проникать въ цилиндръ капля по каплѣ (фиг. 475).



фиг. 475.

Коэффиціентъ объема этого компрессатора, принимая во вниманіе лишь вредное пространство, будетъ 95—98%; принимая въ соображеніе также неплотность поршня, сальниковъ и пр. около 90%. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія получился *) при опытахъ около 70%.

Вегелинъ и Гюбнеръ въ Галлѣ строятъ воздушные компрессаторы также съ распредѣляющимъ коробчатымъ золотникомъ съ отливнымъ каналомъ и задерживающимъ вентилемъ; а кромѣ того еще съ небольшимъ (тоже распредѣляемымъ) выравнивающимъ золотникомъ.

Полумокрые компрессаторы. Въ нихъ для заполненія вреднаго пространства и для охлажденія частей машины и воздуха вводится вода въ цилиндръ и поршнемъ снова выталкивается въ нагнетательное пространство. Въ простѣйшей, однако несовершенной, формѣ это можно достичь тѣмъ, чтобы каждый разъ при всасываніи входило въ цилиндръ вмѣстѣ съ воздухомъ нѣкоторое количество воды черезъ всасывающіе вентили. Такое устройство имѣютъ компрессаторы, которые были установлены въ Даціо и Жіорнико для постройки Готтардской дороги фирмою

*) Zeitschrift des Vereins deutsch. Ing. 1885, S. 1015.

Руа и К° въ Веве. Охлаждающая вода проводится въ полость всасывающихъ вентилей (направленныхъ прямолинейно рычажнымъ параллелограммомъ), изъ которой она входитъ въ цилиндръ съ воздухомъ.

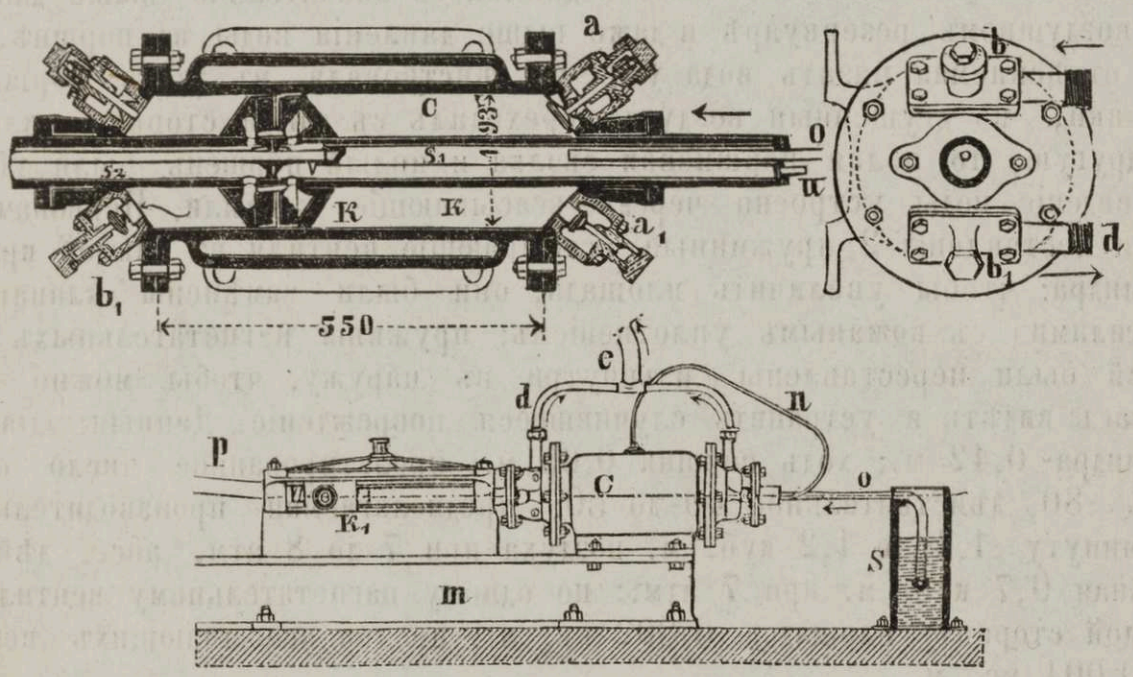
На сѣверной сторонѣ Готтардскаго туннеля были доставлены отъ Руа 15 компрессаторовъ слѣдующаго устройства: Охлаждающая вода стремится черезъ полый стержень поршня и полый поршень въ канавки, проточенные на окружности; слѣдовательно при движеніи поршня должна не только смачивать стѣнки цилиндра, но и служить для уплотненія поршня, такъ какъ вода находилась подъ давленіемъ 7 до 8 атм. Но такъ какъ плохо фильтрованная вода, которая увлекала песокъ, причиняла засореніе и изнашивала стѣнки цилиндра и поршень; съ другой стороны давленіе въ цилиндрѣ вслѣдствіе сравнительно малой площади нагнетательныхъ вентилей часто поднималось значительно выше давленія въ воздушномъ резервуарѣ и даже выше давленія воды въ поршнѣ, такъ что оттѣсняемая назадъ вода уже не дѣйствовала въ видѣ поршневой набивки, но сгущенный воздухъ переходилъ съ одной стороны цилиндра на другую, то полая поршневая скалка и полый поршень были убраны и введеніе воды устроено черезъ всасывающіе вентили. Первоначально были поставлены 2 пружинные всасывающіе вентиля въ каждой крышкѣ цилиндра; чтобы увеличить площадь, они были замѣнены клапанными вентилями съ кожанымъ уплотненіемъ; пружины нагнетательныхъ вентилей были переставлены изъвнутри въ наружу, чтобы можно было тотчасъ видѣть и устранить случившееся поврежденіе. Данныя: діаметръ цилиндра 0,42 м.; ходъ поршня 0,65 м.; проэктированное число оборотовъ 80, дѣйствительное 40 до 50; предполагаемая производительность въ минуту 1,4 до 1,2 куб. м. воздуха при 7 до 8 атм. абс., дѣйствительная 0,7 куб. м. при 7 атм.; по одному нагнетательному вентилю на каждой сторонѣ площадью 0,002 кв. м.; по два всасывающихъ вентиля по 0,004 кв. м.

Въ Гешененѣ были поставлены Эшеромъ Виссъ и К° (въ Цюрихѣ) 4 компрессатора, которые были снабжены пружинными всасывающими и нагнетательными вентилями: сначала введеніе воды совершалось черезъ впрыскиваніе посредствомъ пульверизатора, въ которомъ двѣ тонкія водяныя струи входили подъ угломъ въ 45° одна къ другой; такъ какъ вода была недостаточно фильтрована, то маленькія отверстія засаривались; вслѣдствіе этого заставили воду вливаться прямо черезъ всасывающіе вентили. Данныя: $d=0{,}62$ м.; $l=0{,}9$ м.; по 2 пружинныхъ всасывающихъ вентиля въ каждой крышкѣ съ площадью 0,018 кв. м. и по 1 пружинному нагнетательному вентилю на верхней половинѣ цилиндра, легко доступные снаружи, въ 0,023 кв. м.; проэктированное $n=70$ ($v=2{,}1$ м.); предполагаемая производительность 3,25 до 3,75 куб. м. воздуха въ 7 до 8 атм. абс.; дѣйствительное $n=40$ до 45; дѣйствительная производительность 2,1 куб. м. воздуха въ 7 атм. Пружинные всасывающіе вентили были замѣнены клапанами.

Въ Аироло Эшеръ Виссъ и К°, поставили 15 компрессаторовъ по системѣ Колладона. Охлажденіе совершается циркуляціею воды на окружности цилиндра, а также въ полой поршневой скалкѣ и въ поршнѣ. Кромѣ того было устроено впрыскиваніе фильтрованной воды черезъ пульверизаторъ вышеописаннаго рода. Охлажденіе поршня и его скалки позднѣе

было брошено. Данныя: $D=0{,}46$ м.; $l=0{,}45$ м.; по два пружинныхъ всасывающихъ вентиля въ верхнихъ половинахъ крышекъ цилиндра съ площадью по 0,0092 кв. м. и по одному внизу расположенному пружинному нагнетательному вентилю площадью 0,0066 кв. м.; проэктированное число оборотовъ 90, дѣйствительное 60 до 70; проэктированная производительность 1,3 до 1,1 куб. м. воздуха въ 7 до 8 атм. абс., дѣйствительная 0,5 до 0,8 куб. м. воздуха при 6 до 5 атм.

Въ Гешененѣ и въ Аироло были установлены по 4 маленькихъ компрессатора, которые доставляли воздухъ для воздушныхъ локомотивовъ и были построены по системѣ Колладона. Крышки цилиндровъ были сдѣланы коническія, чтобы получить мѣсто для возможно большаго сѣченія вентилей; соотвѣтственно этому поршень получилъ (фиг. 476 и 477) коническія



фиг. 476 – 478.

заострения на обѣихъ сторонахъ. Охлажденіе совершалось отчасти циркуляціею воды въ кожухѣ цилиндра, отчасти впрыскиваніемъ фильтрованной воды. Данныя: $D=0{,}275$ м; $L=0{,}45$ м.; 2 пруж. всасыв. вентиля въ нижней половинѣ каждой крышки и 1 пруж. нагнет. вентиль въ верхней половинѣ. Проэктированное $n=80$, дѣйствительное 40 до 50; проэктированная производительность по 0,25 куб. м. въ 10 атм. абс. Такъ какъ позднѣе начали употреблять воздушные локомотивы системы Мекарскаго, которые требовали болѣе сгущенный воздухъ, то эти маленькіе компрессаторы употребляли такъ, что они всасывали воздухъ съ давленіемъ 6 до 7 атм., который доставляли большіе компрессаторы, и сгущали его на 12 до 14 атм. Впрыскиваніе воды было тогда остановлено. При 55 оборотахъ въ минуту компрессаторъ всасывалъ въ минуту 2,75 куб. м. воздуха въ 6 до 7 атм. и доставлялъ около 1,1 куб. м. воздуха при 12 атм.

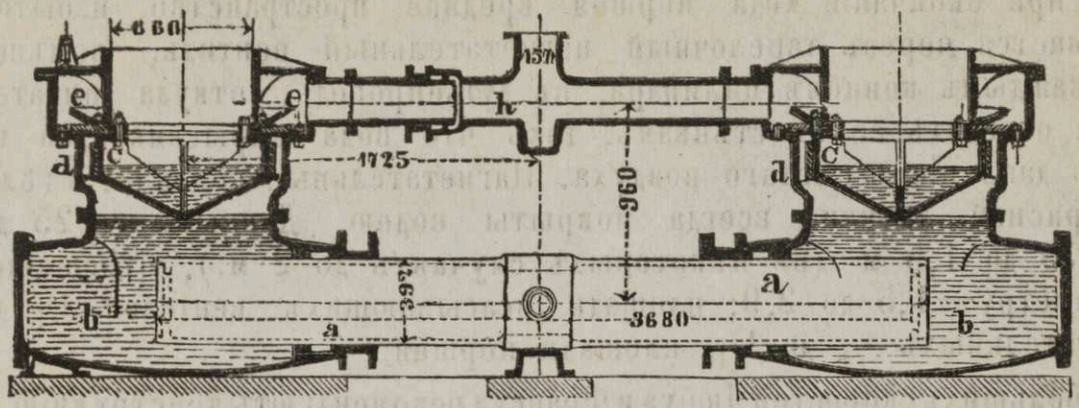
Компрессаторы съ впрыскиваніемъ воды помощію сѣтки (какъ въ лейкахъ) строятъ Дюбуа и Франсуа въ Серепѣ. Каждая изъ нѣсколько наклонныхъ цилиндровыхъ крышекъ получаетъ два кожаные клапана, черезъ которые всасывается воздухъ, и одну сѣтку, черезъ которую непрерывно впрыскивается охлаждающая вода. Вода запол-

няетъ при окончаніи хода поршня вредное пространство; избытокъ ея выжимается черезъ тарелочный нагнетательный вентиль, помѣщенный надъ каждымъ концомъ цилиндра, въ дутьепроводъ, откуда питательная трубка отводитъ ее къ стѣнкамъ, такъ что вода впрыскивается въ цилиндръ давленіемъ сжатаго воздуха. Нагнетательные вентили, сдѣланные изъ красной латуни, всегда покрыты водою. Данныя: n=25 до 30; v=0,75 до 1,5 м (въ нѣкоторыхъ случаяхъ до 2 м.); отношеніе хода къ діаметру=1,5 до 2,9; площадь всасывающихъ вентелей $^1/_5$ до $^1/_6$, нагнетательныхъ $^1/_8$ до $^1/_{10}$ площади поршня.

Для бо́льшихъ скоростей Дюбуа и Франсуа рекомендуютъ конструкцію, въ которой всасывающіе вентили устроены въ видѣ двухъ тарелокъ, помѣщенныхъ надъ цилиндромъ и такъ соединенныхъ помощію стержня одна съ другою, что открываніе одной имѣетъ слѣдствіемъ запираніе другой. Стержень лежитъ на опорахъ, которыя движутся столько же легко какъ призмы вѣсовъ. Посредствомъ такого устройства и чрезъ заполненіе охлаждающею водою всего пространства отъ поршня въ мертвой точкѣ до нагнетательнаго винтиля, расположеннаго надъ всасывающимъ вентилемъ, достигается полное открываніе всасывающаго вентиля какъ разъ при началѣ хода поршня и для этого не нужно нѣкоторое предварительное разрѣженіе воздуха, поэтому эти компрессаторы могутъ ходить быстрѣе, чѣмъ компрессаторы обыкновеннаго устройства. Невыгода же этой и ранѣе описанной конструкціи состоитъ въ томъ, что всосанный воздухъ долженъ пролагать свой путь черезъ воду.

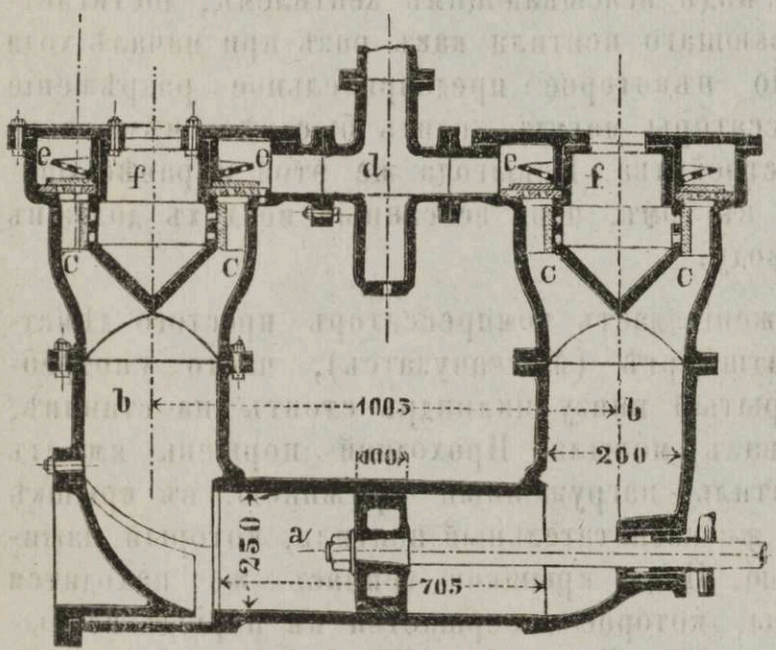
Примѣръ стоячаго расположенія даетъ компрессаторъ простого дѣйствія системы Берлейга въ Фитшбургѣ (Массачузатсъ), часто употребляемый въ С. Америкѣ. Открытый внизу цилиндръ стоитъ на станинѣ, въ которой внизу помѣщенъ валъ мотыля. Проходной поршень имѣетъ тарелочный всасывающій вентиль, нагруженный пружиною, въ крышкѣ цилиндра лежитъ тарелочный же нагнетательный вентиль, который нажимается внизъ также пружиною. Подъ крышкою сейчасъ же находится подведеніе вбрызгиваемой воды, которое совершается въ періодъ всасыванія. Поршень и вентили изъ красной латуни. Выгода этого устройства состоитъ въ большихъ площадяхъ вентилей, при которыхъ требуется лишь небольшой ихъ подъемъ. Вентили легко доступны.

Мокрые компрессаторы. Въ нихъ употребляется наполненіе цилиндра водою, которая достигаетъ до нагнетательныхъ вентилей, такъ что вредныя пространства наполняются водою и послѣдняя дѣйствуетъ на воздухъ какъ продолженіе поршня. Соммелье впервые строилъ такіе компрессаторы для буренія Мон-Сенисскаго туннеля. (Фиг. 479). Къ концамъ лежачаго цилиндра примыкаютъ широкія отвѣсныя трубы, которыя на ихъ верхнихъ концахъ содержатъ по одному всасывающему клапану и по одному круглому нагнетательному вентилю. Эти широкія трубы всегда отчасти наполнены водою; при переднемъ ходѣ поршня столбъ воды поднимается за нагнетательный вентиль, такъ что при каждомъ ходѣ выталкивается вмѣстѣ съ сгущеннымъ воздухомъ нѣкоторое количество воды, которое и замѣнялось чрезъ подведеніе во всасывающемъ клапанѣ. Другіе компрессаторы Соммелье имѣютъ небольшія конструктивныя измѣненія, но тоже самое принципіальное устройство. Напримѣръ Сиверсъ въ Кельнѣ строитъ мокрые компрессаторы съ дискообразными и



фиг. 479.

скальчатыми поршнями и употребляетъ для вентилей круглые каучуковые клапаны, укрѣпленные въ центрѣ, и каучуковыя кольца, которыя лежатъ на дырчатомъ цилиндрическомъ сѣдлѣ вентиля. Компрессаторы строятся отъ 0,125 до 0,8 м. діаметромъ; доставляемое количество воздуха въ минуту 0,06 до 4,3 куб. м. при давленіи 7 атм. абс.; движущая работа 3 до 188 д. с. Примѣръ указанъ на фиг. 480.



фиг. 480.

Весьма хорошую работу даютъ также компрессаторы Станека, двигаемые непосредственно паровою машиною съ цилиндромъ 0,45 м. діаметромъ; всасывающимъ вентилемъ служитъ каучуковое кольцо, нагнетательнымъ — 19 каучуковыхъ кружковъ. См. Meisner, Kraftübertragung.

Очень уютное расположеніе имѣетъ компрессаторъ Пажета; два цилиндра подъ 90° прицѣплены къ горизонтальному валу мотылей, такъ что ихъ оси составляютъ 45° съ вертикальною. Для всасыванія служатъ золотники, двигаемые отъ вала помощію эксцентриковъ; для нагнетанія сгущеннаго воздуха имѣются по 3 самодѣйствующихъ нагнетательныхъ вентиля. Воздушный резервуаръ помѣщается въ станинѣ машины.

Водостолбовые компрессаторы употреблялись при постройкѣ Мон-Сенисскаго туннеля; въ нихъ воздухъ сжимался въ закрытомъ сосудѣ тѣмъ, что нагнетающая вода проводилась въ него, слѣдовательно воздухъ сгущался до давленія, равнаго напору воды. Такіе компрессаторы даютъ малый коэффиціентъ полезнаго дѣйствія (отъ 0,39 до 0,059 при напорѣ 6 до 40 м.) и для передачи силы не годятся.

g) Установка компрессаторовъ и соединеніе съ движущею машиною. Для движенія можно употребить всякій дви-

гатель; смотря по его роду опредѣляется способъ соединенія компрессатора съ двигателемъ. При движеніи отъ паровой машины соединеніе можетъ быть непосредственное, если стержень парового поршня продолжить и насадить на него и поршень компрессатора. Такое расположеніе безъ маховика примѣняется братьями Декеръ, но движеніе бываетъ очень неравномѣрное. Много мѣста требуетъ устройство, при которомъ (какъ дѣлаетъ Кокериль въ Серенѣ) маховикъ находится передъ паровою машиной, позади которой помѣщенъ компрессаторъ. Для полученія равномѣрнаго хода маховикъ долженъ быть весьма тяжелый или нужно спарить двѣ или нѣсколько машинъ на одномъ маховомъ валу. Болѣе уютное расположеніе получается когда маховой валъ помѣщается между паровымъ и воздушнымъ цилиндрами, такъ что онъ перекрещиваетъ общую поршневую скалку. Тогда на каждой сторонѣ сидитъ по маховику, къ которому хватается шатунъ; послѣдніе идутъ либо отъ поршневой скалки, направляемой сзади воздушнаго цилиндра или, если имѣются два воздушные цилиндра простого дѣйствія съ общею поршневою скалкою, отъ поперечины помѣщенной въ срединѣ между ними. Такъ дѣлаетъ Сиверсъ. Фиг. 478 даетъ общее расположеніе компрессатора Колладона.

Для полученія спокойнаго хода и небольшого вѣса маховика часто избирается непрямое движеніе компрессатора отъ вала паровой машины посредствомъ особаго шатуна, при чемъ оси цилиндровъ обыкновенно располагаются параллельно. При этомъ, какъ и при вышеупомянутыхъ расположеніяхъ, поршни двигателя и компрессатора совершаютъ одинаковое число двойныхъ ходовъ въ минуту.

Не непосредственное движеніе помощію колеснаго или ременнаго привода употребляется тогда, когда число оборотовъ вала компрессаторовъ не равно числу оборотовъ вала движителя, какъ это необходимо при движеніи отъ турбины или отъ водянаго колеса.

Типъ, представленный на табл. 23, одинъ изъ самыхъ лучшихъ; паровой цилиндръ F, помѣщенный рядомъ съ воздушнымъ цилиндромъ, привинченъ къ головѣ цилиндрическихъ направляющихъ G'. Эти направляющія, какъ и параллели G^2 компрессатора, отлиты вмѣстѣ съ рамой G, приспособленной для трехъ подшипниковъ g движущаго вала H, откованнаго съ двумя колѣнами h и h'. Колѣно h парового поршня поставлено подъ нѣкоторымъ угломъ къ колѣну h' компрессатора для полученія хорошаго пораспредѣленія и равныхъ касательныхъ давленій на оба плеча. Система распредѣленія принята Ридерова. Смазка поршня цилиндра и распредѣлительнаго золотника производится небольшимъ приборомъ K, поставленнымъ на пароприводной трубѣ N, дѣйствіе котораго основано на сгущеніи пара*).

h) Діаграммы компрессаторовъ; i) Условія построенія компрессаторовъ и k) Расчетъ компрессаторовъ будутъ описаны въ отдѣлѣ особомъ.

Воздухопроводъ. Отъ компрессаторовъ сжатый воздухъ направляется по трубамъ къ воздушнымъ двигателямъ или рабочимъ машинамъ,

---

*) Главные типы такихъ масленокъ описаны въ 30 томѣ, черт. 45, изданія Арманго, Publication industrielle. Эти масленки распространяются и дѣйствительно даютъ значительную экономію смазочнаго матеріала.

въ которыхъ онъ долженъ дѣйствовать въ видѣ движущаго вещества. Но обыкновенно воздухъ направляется сначала въ сосудъ, который дѣйствуетъ какъ воздушный аккумуляторъ и регуляторъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ имѣются особые регуляторы давленія между компрессаторомъ и воздушнымъ резервуаромъ. При влажномъ воздухѣ, каковой получается изъ мокрыхъ и полумокрыхъ компрессаторовъ, необходимо сначала воздухъ высушить, дабы избѣжать неудобствъ, сопряженныхъ съ употребленіемъ влажнаго воздуха въ воздушныхъ движителяхъ.

a) Приборы для осушенія воздуха. Воду, увлекаемую въ трубопроводъ, можно собирать помощію водянаго мѣшка (табл. 19 фиг. 3), вставленнаго въ самомъ низкомъ его мѣстѣ и потомъ по временамъ выпускать черезъ крантъ. Самодѣйствующее обезвоживаніе трубопровода можно получить посредствомъ аппарата, устроеннаго подобно отводчикамъ сгущенной воды съ поплавками, устраиваемыми въ паропроводахъ. Вода скопляется въ горшкѣ и когда достигла опредѣленнаго уровня, то приподнимаетъ поплавокъ или стекаетъ черезъ край открытаго плавающаго сосуда; тогда этотъ сосудъ или поплавокъ открываетъ вентиль, черезъ который вода и выливается подъ давленіемъ сжатаго воздуха. Такой аппаратъ былъ примѣненъ при первыхъ воздушныхъ компрессаторахъ на сѣверной сторонѣ Готтардскаго туннеля въ Гешененѣ, фиг. 4 табл. 19 указываетъ конструкцію его. Полый шаровой поплавокъ, защищенный отъ падающей воды ширмою *A*, открываетъ спускной крантъ, когда скопившаяся въ горшкѣ вода достигла до назначеннаго уровня.

Такіе приборы могутъ удалять только воду, осѣвшую или увлеченную въ воздухопроводѣ; достаточное же осушеніе воздуха не получается. Для этого служатъ болѣе хорошія приспособленія, какъ представляетъ воздухоосушитель въ Сангатѣ близъ Кале (при постройкѣ пробнаго туннеля подъ каналомъ между Франціею и Англіею). Какъ видно изъ фиг. 5 табл. 19, сгущенный воздухъ изъ полумокраго компрессатора входитъ въ желѣзный цилиндръ, снабженный желѣзными тарелками. При этомъ воздухъ долженъ совершить зигзагообразный путь внизъ и затѣмъ стремится въ наружный желѣзный цилиндръ, изъ котораго онъ поступаетъ въ трубы, ведущіе къ резервуарамъ. На этомъ пути осаждается увлеченная вода, скопляется на днѣ и отъ времени до времени высасывается струйнымъ приборомъ, приводимымъ въ дѣйствіе помощію поплавка.

Подобное же устройство было примѣнено и въ Гешененѣ такъ какъ упомянутые приборы (фиг. 4 таб. 19) не давали достаточнаго осушенія. Въ этихъ воздухоосушителяхъ воздухъ совершалъ обратный путь, какъ въ прежде описанномъ приспособленіи; онъ стремился сначала въ наружномъ цилиндрѣ внизъ и потомъ во внутреннемъ вверхъ; въ послѣднемъ, было подвѣшено большое число продырявленныхъ листовъ, на которыхъ и отлагалась большая часть увлеченной воды. Вода, скопившаяся на днѣ, отводилась чрезъ постоянно открытый крантъ, съ чѣмъ однако была соединена потеря воздуха.

b) Воздушные резервуары. Воздушные резервуары, въ которые проводится доставленный компрессаторами сжатый воздухъ, имѣютъ цѣлію служить аккумуляторомъ, копежомъ и регуляторомъ давленія; они должны быть достаточно велики, дабы дать выравниваніе между не вполнѣ равномѣрнымъ доставленіемъ и различнымъ смотря по

потребности расходованіемъ воздуха; далѣе воздухъ долженъ въ резервуарахъ охлаждаться и высушиваться. Въ горныхъ заводахъ охотно употребляютъ для воздушныхъ резервуаровъ старые паровые котлы, а за неимѣніемъ ихъ особо изготовленные цилиндрическіе сосуды съ шаровыми оконечностями, склепанные изъ желѣзныхъ листовъ, тщательно прочеканенные и защищенные отъ ржавленія чрезъ окрашиваніе дегтемъ. Резервуары снабжаются лазомъ, патрубками для подведенія и отведенія воздуха, предохранительнымъ клапаномъ, манометромъ для указанія давленія, водоуказательнымъ стекломъ для указанія высоты воды, осѣвшей изъ воздуха, крантомъ или вентилемъ для спуска воды.

Объемъ воздушнаго резервуара зависитъ отъ равномѣрности расходовъ, а также отъ длины воздухопровода между резервуаромъ и мѣстомъ потребленія, такъ какъ длинные проводы достаточный ширины дѣйствуютъ также въ видѣ копежа силы и регулятора давленія. Пернолле даетъ, что объемъ резервуара долженъ быть равенъ почти 10 до 15—кратному объему воздуха, расходуемаго въ минуту, если расходъ очень неравномѣрный, и равнымъ 4 до 5—кратному при равномѣрнымъ расходованіи. Учебникъ горнаго искусства Кэлера даетъ: при употребленіи только одного компрессатора объемъ резервуара долженъ соотвѣтствовать покрайней мѣрѣ 20-кратной потребности воздуха въ минуту. При нѣсколькихъ компрессаторахъ достаточно 5 до 10 кратнаго расхода воздуха въ минуту.

Обыкновенные размѣры воздушныхъ котловъ слѣдующіе: діаметръ 1 до 2 м., длина до 50 м. Если одного резервуара для даннаго объема воздуха недостаточно, то употребляются два или болѣе одинъ возлѣ или надъ другимъ и соединяются трубами, въ которыя вставляются вентили, дабы можно было выключать резервуары по одному; подводящія и отводящія трубы въ каждомъ резервуарѣ вводятся сверху. У становъ резервуаровъ, смотря по мѣсту, бываетъ стоячій или лежачій, въ послѣднемъ случаѣ съ небольшимъ наклономъ для удобнаго отведенія осѣвшей воды.

c) Регуляторы давленія и скорости. Между компрессаторомъ и воздушнымъ котломъ можетъ быть поставленъ особый регуляторъ давленія, который имѣетъ цѣлію прекратить сообщеніе между ними, если бы давленіе (вслѣдствіе поломки трубъ или котла) внезапно упало ниже опредѣленной мѣры и чрезъ то скорость компрессатора слишкомъ возросла. Однако, такіе регуляторы имѣютъ небольшое значеніе, такъ какъ при поломкѣ въ проводѣ между котломъ и компрессаторомъ (которая во всякомъ случаѣ встрѣчается весьма рѣдко) можно легко устранить ускореніе послѣдняго. Въ конструкціи такого регулятора, данной Рибуромъ, автоматически закрывается клапанъ, помѣщенный въ расширенной части трубопровода, когда давленіе понижается ниже нормальной мѣры. Для этого на оси вращенія клапана, продолженной внаружу, насаженъ рычагъ, вращеніе коего на 90° достигается черезъ перемѣщеніе кулиссы, соединенной на-крѣпко съ двумя поршнями. Переводъ этихъ поршней совершается дифференціальнымъ поршнемъ, который нагруженъ вѣсомъ, выбраннымъ соотвѣтственно допускаемому наименьшему давленію воздуха. Какъ скоро давленіе проводимаго въ регуляторъ сжатаго воздуха падаетъ ниже нормальной величины, дифференціальный поршень оттягивается грузомъ внизъ, сжатый воздухъ

входитъ сзади одного изъ названныхъ поршней, тогда какъ пространство сзади другого соединяется съ свободнымъ воздухомъ, такъ что кулисса передвигается и клапанъ закрывается.

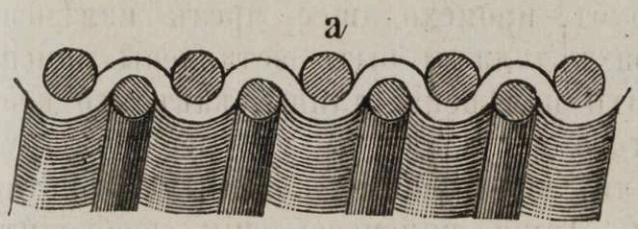
Чтобы упругость въ воздушномъ котлѣ не возросла выше опредѣленнаго рабочаго давленія, помѣщаютъ на воздушныхъ резервуарахъ регуляторы давленія различнаго рода, которые дѣйствуютъ либо подобно предохранительному вентилю паровыхъ котловъ или же автоматически запираютъ паропроводъ къ паровой машинѣ, движущей компрессаторъ, какъ скоро достигнута наивысшая упругость въ воздушномъ резервуарѣ. Въ компрессаторѣ Стерджела большее или меньшее давленіе воздуха автоматически производитъ уменьшеніе или увеличеніе степени наполненія паровой машины.

Но такіе регуляторы не оказываютъ никакого вліянія на ходъ машины, если упругость въ резервуарѣ понижается и тогда предстоитъ опасность, что машина бросится (внезапно ускоритъ ходъ). Фрелихъ въ Дюссельдорфѣ устроитъ приборъ, который регулируетъ автоматически давленіе въ воздушномъ копежѣ и одновременно скорость движущей машины. Конструкція видна на фиг. 6 табл. 21; скальчатый поршень A играетъ въ двухъ цилиндрахъ B и C, которые укрѣплены на лицевой стѣнкѣ воздушнаго копежа D; изъ нихъ B соединяется съ воздухопроводомъ, C съ паропроводомъ къ движителю. Съ скальчатымъ поршнемъ соединены полоски a, къ которымъ подвѣшиваются грузы, которые такъ уравновѣшиваютъ поршень, что онъ даетъ полное проходное отверстіе отъ D къ проводнику E, если въ D какъ и въ E господствуетъ нормальное рабочее давленіе и если машина идетъ при нормальномъ расходѣ воздуха съ назначеннюю скоростію. Тогда полоски a покоятся на спиральныхъ пружинахъ. Если же воздуха потребуется меньше и отъ этого давленіе въ E и въ D увеличивается, тогда полоски a сдавливаютъ спиральныя пружины и поршень A запираетъ паропроводъ къ машинѣ; машина останавливается. Если напротивъ давленіе въ D и E понижается, то A поднимается и стѣсняетъ воздухопроводъ отъ D къ E, такъ что воздухъ въ D сохраняетъ нормальное давленіе.

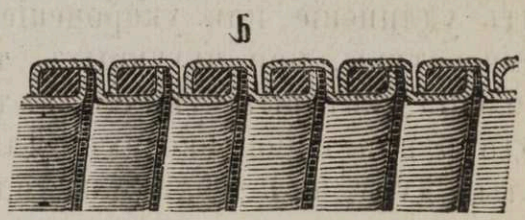
d) Трубы воздухопровода. Проведеніе воздуха дѣлается трубами изъ чугуна, желѣза, мѣди и каучуковыми рукавами. Чугунныя трубы употребляются при діаметрѣ >150 мм.; онѣ должны быть приготовлены тщательно и защищены отъ ударовъ, что достигается хорошею укладкою ихъ. Тянутыя желѣзныя трубы, хотя дороже, слѣдуетъ предпочесть чугуннымъ, такъ какъ онѣ легче и менѣе чувствительны къ ударамъ и пр.; далѣе онѣ не столь легко ведутъ къ поломкамъ, какъ чугунныя трубы, вслѣдствіе измѣненій длины, происходящихъ отъ перемѣнъ температуры. Дальнѣйшее большое преимущество состоитъ въ томъ, что ихъ легко можно имѣть длиною въ 6 м., чрезъ что проводъ получаетъ менѣе мѣстъ соединенія, вмѣстѣ съ тѣмъ имѣется меньше причинъ неплотностей. Тянутыя желѣзныя трубы могутъ быть согнуты въ кривыя довольно малаго радіуса и не требуютъ особыхъ компенсаціонныхъ приспособленій. Такія трубы употребляются до 150 мм. діаметромъ; при большей ширинѣ рекомендуются клепаныя или прокатанныя желѣзныя трубы, изъ коихъ именно послѣднія оказались

очень хорошими въ Готардскомъ туннелѣ. Мѣдь вслѣдствіе высокой ея цѣны употребляется только для компенсаціонныхъ приборовъ.

Каучуковые рукава употребляются для соединенія металлическихъ проводовъ съ подвижными воздушными движителями (напр. машины для буренія камня). Рукава употребляются обыкновенно въ 25 и 30 мм. шириною, однако они бываютъ до діаметра 150 мм. Рукава слѣдуетъ снабдить полотняными прокладками и шнурковою обмоткою. Если рукава должны сопротивляться высокому давленію извнутри или снаружи, то б. ч. стараются еще особенно укрѣпить ихъ. Это дѣлается лучше всего двумя проволочными спиралями, одна для опоры стѣнокъ рукава извнутри, другая для опоры ихъ снаружи, фиг. 481. Спирали даютъ рукаву крѣпость, самъ же каучукъ только плотность. Это привело къ мысли сдѣлать спиралеобразную часть трубы, назначенную для плотнаго замыканія. Таковы гибкія металлическія трубы, изобрѣтенныя Левассеромъ въ Парижѣ, фиг. 482. Сопротивляющаяся часть стѣнокъ со-



фиг. 481.



фиг. 482.

стоитъ изъ спиралей, сдѣланныхъ изъ листовой мѣди или изъ другого мягкаго листоваго металла; сѣченію спиралей данъ приблизительно видъ цифры 5. При выдѣлкѣ этихъ спиралей на соотвѣтствующей машинѣ между винтовыми ходами онаго вводится каучуковый шнурокъ, предназначенный для уплотненія. Онъ служитъ очень хорошо. Труба Левассера употребляется какъ для газа, такъ для воды, пара, воздуха и пр. и одинаково хороша какъ для высокаго внутренняго давленія (пробное давленіе до 12 атм.), а также для высокаго наружнаго давленія. Флянцы и другія части для соединеній навинчиваются на винтовой ходъ и потомъ тщательно припаиваются.

Расчетъ металлическихъ трубъ дѣлается такъ же какъ для проведенія воды.

Соединенія. Чугунныя трубы лучше всего соединять посредствомъ свинчиванія флянцевъ, которые снабжаются канавками; въ канавки вкладывается каучуковый шнуръ толщиною около 15 мм. Хорошее соединеніе получается также помощію конически пригнанныхъ одинъ въ другой концовъ, которые стягиваются посредствомъ флянцеваго свинчиванія; для уплотненія заполняется каучукомъ канавка одной трубы, въ которую входитъ коническій конецъ другой. Употребляются также гладкообточенные флянцы съ проточенными мелкими рисками и уплотненіе плоскими каучуковыми кольцами.

Желѣзныя трубы соединяются винтовыми муфтами съ правою и лѣвою нарѣзкою или помощію флянцевъ, которые при прокатныхъ трубахъ либо навинчиваются на концы трубъ или наколачиваются на нихъ и въ послѣднемъ случаѣ стягиваются крѣпко на спаянномъ мѣдномъ коль-

цѣ квадратнаго сѣченія (сторона 4 мм.); при клепанныхъ желѣзныхъ трубахъ флянцы образуются приклепными кольцами изъ угловаго желѣза. Для уплотненія служатъ каучуковыя кольца.

Соединеніе каучуковыхъ рукавовъ съ металлическими трубами дѣлается чрезъ прочную обмотку проволокою. Между собою рукава соединяются общеизвѣстнымъ образомъ помощію винтовыхъ сростовъ для пожарныхъ рукавовъ.

Укладка трубъ. Отвѣсные проводы должны быть подперты на разстояніяхъ отъ 25 до 30 м., что дѣлается чрезъ снабженіе трубы особыми флянцами, коими она опирается на поддержки. Горизонтальные проводы кладутся на крюки, вколоченные въ стѣну или подвѣшиваются на поддержкахъ изъ обручнаго желѣза или кладутся на полъ. При этомъ какъ и при висячемъ расположеніи полезно класть трубы на каточки, такъ что перемѣщенія по длинѣ могутъ происходить легко.

Компенсаціонныя приспособленія. Чтобы уравновѣсить удлиненіе или укороченіе трубъ, происходящее чрезъ измѣненія температуры, при чугунныхъ трубахъ должны быть вставлены приспособленія, которыя уничтожаютъ эти измѣненія длины, какъ это необходимо при паропроводахъ. Для этого могутъ быть употреблены трубчатыя дуги, изъ мѣди или сальники, уплотненные кожаными воротниками или каучуковыми кольцами. Такія приспособленія необходимы въ разстояніяхъ отъ 100 до 500 м. Тогда должно одну трубу на этой длинѣ уложить на-крѣпко помощію якорей, такъ что измѣненіе длины будетъ идти отъ этой трубы и на другомъ концѣ трубнаго участка будетъ приниматься компенсаціоннымъ приборомъ. При мѣдныхъ трубахъ дѣлаютъ на нихъ полукругъ или цѣлый кругъ, который имѣетъ радіусъ 0,5 до 0,6 м.

Вычисленіе площади трубъ, нужной для проведенія извѣстнаго количества воздуха дѣлается въ предположеніи опредѣленной скорости воздуха. Она принимается весьма различною, отъ 1 до 30 м.; напримѣръ въ горныхъ заводахъ c=около 1 м.; при Мон-Сенисскомъ туннелѣ c=2,65 м. (при длинѣ 4000 м.), Готтардскомъ туннелѣ c=9,18 м. (при длинѣ 7000 м.).

Кребсъ рекомендуетъ c=4 м.; Гауеръ c=10 до 15 м.; Рейхе даетъ, что площадь дутьепровода должна быть равна 0,15 площади поршня компрессатора; а если нѣсколько компрессаторовъ подаютъ воздухъ въ общій духопроводъ, то его площадь=0,1 суммы площадей всѣхъ поршней. Для выбора площади трубъ надо знать, что съ увеличеніемъ діаметра сильно увеличивается стоимость провода, трубы труднѣе укладывать и не такъ легко защитить отъ ударовъ.

Когда скорость c выбрана и объемъ воздуха V, протекающій въ секунду извѣстенъ, то діаметръ d трубъ опредѣляется изъ $d=\sqrt{4V:\pi c}$

Компенсаціонныя приспособленія могутъ также служить для удобной перемѣны разныхъ трубъ, безъ разборки цѣлаго провода. Соединенія должны быть доступны, чтобъ можно было осматривать ихъ плотность. Передъ укладкой трубы должно испробовать давленіемъ на плотность, именно чрезъ наполненіе водою и также чрезъ наполненіе воздухомъ, въ послѣднемъ случаѣ подъ водою; далѣе должно произвести пробу

всего провода. Предъ укладкою трубы должны быть прокрашены снаружи и внутри два раза дегтемъ или масляною краскою, чтобы устранить ржавленіе; должно также произвести полное удаленіе формоводочнаго песка извнутри трубы, дабы частицы песка не были увлечены воздухомъ въ воздушные движители. Въ самыхъ низкихъ мѣстахъ провода ставятся водяные мѣшки самодѣйствующіе водоотводчики. Далѣе въ проводѣ вставляются запоры, которые даютъ возможность выдѣлить изъ цѣлой сѣти проводовъ отдѣльные трубные участки для починки или перемѣны трубъ. Для полнаго устройства сѣти выгодно примѣнять кольцевое расположеніе, чтобы работу не приходилось вполнѣ останавливать, когда потребуется сдѣлать нѣкоторыя починки.

Воздушные движители. Обыкновенно сжатый воздухъ употребляется для работы въ одно—или двудѣйствующихъ поршневыхъ машинахъ, которыя тогда двигаютъ имѣющіяся рабочія машины въ видѣ самостоятельныхъ движителей или же онъ дѣйствуетъ непосредственно на работающее орудіе, какъ напримѣръ бурильное долото въ камнебурильныхъ машинахъ. Въ такихъ поршневыхъ машинахъ сжатый воздухъ дѣйствуетъ такъ же какъ паръ въ паровыхъ машинахъ, а именно или полнымъ давленіемъ, или же посредствомъ расширенія; послѣдній способъ дѣйствія выгоднѣе перваго и всегда долженъ быть примѣняемъ. Распредѣленіе воздуха дѣлается обыкновенно золотниками.

Чтобы получить наивыгоднѣйшее дѣйствіе расширеніемъ при постоянной температурѣ необходимо искусственное нагрѣваніе воздуха. Для этого сдѣланы были разныя предложенія, изъ коихъ способъ инженера Корне самый простой и часто примѣняемый. Способъ состоитъ въ томъ, что въ цилиндръ двигателя впрыскивается горячая вода въ формѣ пыли, т. е. подобный тому, какой примѣняется въ компрессаторахъ съ впрыскивательнымъ охлажденіемъ для достиженія противоположной цѣли. Въ одной такой воздушной машинѣ при температурѣ воздуха предъ входомъ въ движитель въ 21,5° получилась послѣ расширенія температура 5,5°; начальная и конечная температура горячей воды была 20,5 и 14,5°; количество воды 1,717 литра на 1 куб. м. воздуха атмосф. давленія.

Другія предложенія для искусственнаго нагрѣванія воздуха слѣдующія: Мальяръ предложилъ заставлять воздухъ работать послѣдовательно въ нѣсколькихъ цилиндрахъ и подогрѣвать при переходахъ; Больонъ нагрѣваетъ цилиндръ паромъ; Мекарскій въ своихъ уличныхъ локомотивахъ, работающихъ сжатымъ воздухомъ, нагрѣваетъ воздухъ чрезъ смѣшиваніе съ паромъ. Система Попца см. стр. 472.

Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія воздушныхъ движителей кромѣ потери чрезъ охлажденіе воздуха при расширеніи зависитъ еще отъ тренія въ машинѣ, отъ потери воздуха и отъ вредныхъ пространствъ и составляетъ около 0,50 до 0,75; такъ что изъ теоретической работы, которую могъ бы развить сжатый воздухъ при его расширеніи по изотермѣ, 50 до 75% отдаются полезно рабочимъ машинамъ или работающему орудію.

151. Построенныя передачи силы посредствомъ сжатаго (и разрѣженнаго) воздуха. а) Въ Аироло. Для постройки Готтардскаго тунеля въ 1873 на южной сторонѣ въ Аироло были установлены Эшеромъ

Виссъ и К⁰ воздушные компрессаторы. Для движенія были первоначально установлены 4 тангеніальныя колеса, изъ коихъ каждое давало 210 л. с. При расширеніи сооруженія, потребовавшагося позднѣе, были построены еще 4 турбины Жирара и притомъ такъ, что онѣ были помѣщены непосредственно надъ тангенціальными колесами на тѣхъ же самыхъ стоячихъ валахъ. Передача отъ валовъ турбинъ къ валамъ мотылей совершалось коническими колесами съ 35 и 152 зубьями. Колѣнчатые валы для 4 группъ компрессаторовъ лежатъ въ точности въ одной линіи, такъ что смотря по потребности могли быть соединены между собою. Каждая группа турбинъ двигала 3 компрессатора системы Колладона. Діаметръ цилиндровъ 460 мм., ходъ поршней 450 мм. Въ днѣ и крышкѣ каждаго цилиндра сидятъ по всасывающихъ вентиля діаметромъ 106 мм. и по одному нагнетат. вентилю діаметромъ 93 мм. Цилиндры для охлажденія снабжены рубашками для циркуляціи воды. Поршни и скалки построены для непрерывной циркуляціи воды и каждый цилиндръ имѣетъ еще нѣсколько штуценовъ съ сѣтками, помощію коихъ можно впрыскивать воду, смотря по потребности, непосредственно внутрь цилиндра, чтобы вызвать возможно дѣятельное охлажденіе. Вода для всѣхъ этихъ охлаждающихъ приспособленій доставляется насосами простого дѣйствія въ 60 мм. діаметромъ и 450 мм. ходъ; каждая группа компрессаторовъ имѣетъ 2 насоса, которые движутся непосредственно отъ крестовины. Каждая группа при 90 оборотахъ въ минуту должна доставлять 5000 куб. м. сжатаго воздуха въ 24 часа при 6 атм. избыточнаго давленія.

b) Въ Гешененѣ. На сѣверной сторонѣ Готтардскаго туннеля при Гешененѣ для полученія сжатаго воздуха для бурильныхъ машинъ, воздушныхъ локомотивовъ и т. д. Руа и К⁰ поставили группу компрессаторовъ системы Колладона. Для движенія служили 4 неполныя турбины Жирара съ общимъ горизонтальнымъ валомъ. Помощію этихъ турбинъ, которыя при количествѣ воды по 0,3 куб. м. въ секунду при дѣйствительномъ напорѣ 85 м. и при 160 оборотахъ въ минуту должны давать каждая по 280 л. с., двигали сначала 5 группъ каждая изъ 3 компрессаторовъ. Какъ видно изъ табл. 19 и 20 каждые 3 полумокрые компрессатора *K* (съ введеніемъ воды черезъ всасывающіе вентили) соединены въ одну группу помощію общаго трехъ-колѣнчатаго вала *L*, мотыли коего стоятъ подъ 120⁰. Отъ общаго вала *J* турбинъ *E* двигались валы *L* помощію 2 паръ зубчатыхъ колесъ *G* и *H*, коихъ передаточное число 1 : 2. Діаметръ цилиндровъ компрессаторовъ 0,42 м., ходъ поршня 0,65 м. Компрессаторы не могли работать съ проэктированнымъ числомъ оборотовъ 80 въ минуту, такъ что число оборотовъ турбинъ принуждены были уменьшать на 80 до 100, чрезъ что работа турбинъ понизилась до 150 л. с. Вычисленная производительность одного компрессатора достигала 1,4 до 1,2 куб. м. воздуха въ минуту въ 7 до 8 атм. при коеффиціентѣ объема 70%. Вслѣдствіе уменьшенной скорости, а также вслѣдствіе меньшаго полезнаго дѣйствія, которое было только 50%, доставлялось только 8,5 куб. м. сжатаго воздуха при упругости 7 атм.

Для полученія болѣе сгущеннаго воздуха для воздушныхъ локомотивовъ были установлены еще 4 меньшіе компрессатора діаметромъ 0,275

м. и ходъ поршня 0,45 м. Эти компрессаторы всасывали уже сгущенный до 6 или 7 атм. воздухъ и сжимали его на 12 до 14 атм. Получали въ минуту 2,9 до 3,4 куб. м. воздуха въ 12 атм., который отъ 4 компрессаторовъ доставляли въ общую нагнетательную трубу; ею проводила его въ резервуары въ 4 до 9 м. длиною и 1,5 м. діаметромъ съ общею ёмкостію 60 куб. м. Чтобы устранить увеличеніе давленія въ этихъ резервуарахъ свыше 12 атм., одинъ изъ нихъ былъ снабженъ предохранительнымъ клапаномъ, чрезъ который воздухъ могъ бы вытекать въ главный проводъ. Отъ этихъ резервуаровъ велъ воздушный проводъ въ 6 сантиметр. шириною къ туннелю, гдѣ были помѣщены кранты для питанія воздухомъ.

Такъ какъ описанное сооруженіе не дало проэктированной производительности, то Эшеромъ Виссъ и К⁰ въ Цюрихѣ было установлено второе, состоявшее изъ 2 одно отъ другой независимыхъ группъ каждая съ 2 двудѣйствующими компрессаторами системы Колладона съ впрыскиваніемъ воды, которое однако было замѣнено введеніемъ воды чрезъ всасывающіе вентили. Двигателями были двѣ широкія неполныя турбины системы Жирара съ горизонтальными осями, каждая турбина при количествѣ воды 0,48 куб. м. въ секунду, дѣйствительномъ напорѣ 85 м. и при 70 оборотахъ въ минуту при 60% полезнаго дѣйствія давала 325 л. с. Принимая въ соображеніе равномѣрный ходъ компрессаторовъ должны были понизить число оборотовъ на 30 до 40, чрезъ что работа каждой турбины упала на 185 л. с. Компрессаторы имѣли діаметръ цилиндровъ 0,62 м.; ходъ 0,9 м. и доставляли соотвѣтственно уменьшенной скорости при коеффиціентѣ объема 70% около 8,5 куб. м. воздуха, сгущеннаго до 7 атм. По вычисленію коеффиціентъ работы компрессаторовъ получается для перваго устройства 0,53 и для второго 0,72.

При первомъ устройствѣ сгущенный воздухъ каждой группы компрессаторовъ входилъ сначала въ воздухоосушитель × (табл. 19 и 20) для отдѣленія охлаждающей воды; при второмъ устройствѣ въ срединѣ между двумя группами и въ проводѣ между компрессаторами и воздушными копежами было поставлено по одному воздухоосушителю, какъ описано на стр. 536.

Потеря давленія въ трубопроводѣ при длинѣ его отъ 2000 до 5000 м. составляла среднимъ числомъ 3,6 атм., ибо воздухъ входилъ при 6,7 атм., а достигалъ бурильныхъ машинъ только при 3,1 атм. Отсюда коеффиціентъ полезнаго дѣйствія провода получается 0,6,—результатъ невыгодный, имѣющій основаніе въ малой ширинѣ трубъ. При предположеніи полезнаго дѣйствія бурильныхъ машинъ въ 0,5 общій коеффиціентъ полезнаго дѣйствія всей пневматической передачи было бы только 0,18.

c) Въ Бирмингамѣ. Грандіозное сооруженіе для снабженія рабочихъ машинъ проэктировано компаніею сжатаго воздуха и частію находится уже въ дѣйствіи. Сначала сдѣлано снабженіе кварталовъ Деритендъ, Св. Мартина, Св. Варфоломея и Бордесли и для этого воздвигнуто машинное сооруженіе, которое въ состояніи дать 15000 л. с., изъ коихъ теперь разобрано около 6000.

Главная часть машиннаго отдѣленія лежитъ между Мидлендскою желѣзною дорогою и каналомъ Бирмингамъ—Варвикъ, такъ что доставка угля и подведеніе воды могутъ совершаться удобно. Уголь сначала поступаетъ въ такъ называемые 8 центнерные газовики Вильсона; полученный въ нихъ газъ проводится подземными проводами къ 45 котламъ лана съ кипятильными трубками, изъ коихъ каждые 3 котла установлены въ каждомъ изъ 15 машинныхъ зданій. Каждое машинное зданіе содержитъ трехъ цилиндровую компаундъ машину съ сгущеніемъ въ 1000 и. л. с., которая двигаетъ 6 воздушныхъ компрессаторовъ простого дѣйствія, дающихъ вмѣстѣ 70 куб. м. воздуха въ минуту при 3,2 атм. избыточнаго давленія. Воздухъ, всасываемый компрессаторами, предварительно фильтруется для очистки отъ пыли и сажи. Количество воды, потребное для работы котловъ и холодильниковъ паровыхъ машинъ, а также для охлажденія цилиндровъ компрессаторовъ, составляетъ 27000 куб. м. въ день.

Воздуховодныя трубы имѣютъ 18 до 61 сантиметра ширины внутри и желѣзныя; онѣ положены въ бетонные желоба, снабженные подъемными каменными крышками (фиг. 3 табл. 18). Эти каналы лежатъ въ грунтѣ возможно близко подъ поверхностію улицъ, такъ что осмотръ проводовъ можно сдѣлать удобно послѣ поднятія крышечныхъ плитъ.

Вставленные въ трубопроводы запорные вентили имѣютъ конструкцію по фиг. 4 табл. 18; если произойдетъ въ проводѣ поломка, то потокъ воздуха гонитъ сосѣдній вентиль на его сѣдло и поврежденный проводъ выключается. Тѣ же самые вентили примѣняются для отдѣленія отдѣльныхъ участковъ провода посредствомъ ручного рычага. Коробка вентиля снабжена еще водянымъ мѣшкомъ, въ которомъ скопляется вода, выдѣлившаяся изъ воздуха въ проводѣ; отъ времени до времени она спускается черезъ открываніе кранта. Отвѣтвленіе болѣе узкихъ трубъ отъ главныхъ проводовъ дѣлается по способу, изображенному на фиг. 5 табл. 18. Для соединенія трубъ въ этомъ случаѣ и съ вентилями избрано муфтовое устройство, данное Форстеромъ и изображенное на фиг. 5 табл. 18; это соединеніе допускаетъ долевое перемѣщеніе трубъ при перемѣнахъ температуры. Надъ вентилями и частями для отвѣтвленія, помѣщаемыми въ колодцахъ, расположена чугунная крышка (фиг. 4 табл. 18) съ клапаномъ, чтобъ облегчить доступъ.

Воздухъ, доставляемый абонентамъ, измѣряется мѣрительнымъ приборомъ, устроеннымъ на подобіе газоваго эксгаустора Беля, только здѣсь воздухъ двигаетъ поршень, тогда какъ тамъ имѣется обратный случай. Этотъ приборъ опредѣляетъ протекающее черезъ него количество воздуха, принимая во вниманіе различное давленіе, такъ что числа указываемыя счетнымъ приборомъ получаютъ затѣмъ поправку. Для этого стержень a (фиг. 6 табл. 18) измѣрительнаго прибора оканчивается червякомъ, который помощію винтовой передачи приводитъ въ движеніе трущееся колесо b, вращающееся между 2 большими трущимися кругами c и d. Положеніе колеса b измѣняется помощію пружины Бурдона, подверженной давленію сжатаго воздуха; вслѣдствіе этого колесо b передвигается внизъ и вверхъ между кругами c и d смотря по тому возрастаетъ или уменьшается давленіе въ главномъ проводѣ. Такъ какъ отъ колеса b движутся круги c и d, то они будутъ идти тѣмъ медленнѣе, чѣмъ на большемъ радіусѣ находится колесо b т. е. чѣмъ дальше оно отодвигается пружиною

Бурдона отъ оси круговъ *c* и *d*. По эта ось двигаетъ счетный механизмъ, указывающій количество воздуха стрѣлкою на циферблатѣ. Число оборотовъ оси круговъ *c* и *d*, слѣдовательно, мѣняется соотвѣтственно давленію въ проводѣ. По протеканіи 1000 куб. футъ чрезъ измѣрительный приборъ, послѣдній даетъ на центральную станцію электрическій сигналъ.

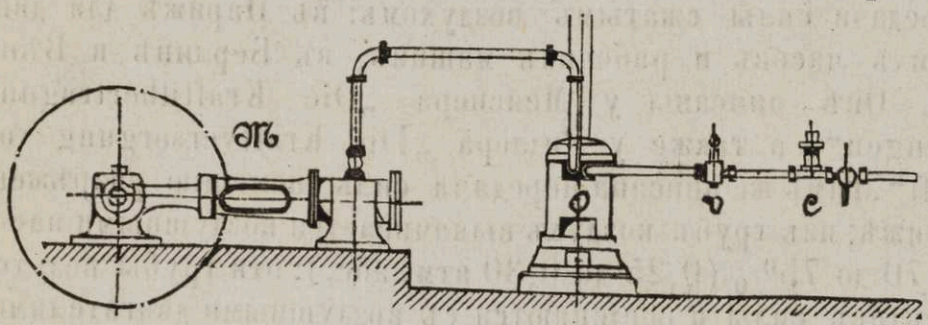
Стоимость всего сооруженія на 15000 л. с. исчислена смѣтою $5^1/_2$ милліоновъ марокъ. Общество продаетъ 1000 куб. фут. за 5 ф. (1000 куб. м. за 23 марки). По постановленію парламента общество смѣетъ получать до $10^0/_0$ прибыли; ихъ превышеніе оно должно раздѣлить его съ абонентами. Инженеръ общества Стэрджэнъ, его помощникъ Генри Аткинсонъ.

Примѣчаніе. Въ Бирмингамѣ съ Марта 1888 г. открыта для движенія канатная конка по образцу имѣющихся въ С. Франциско, Нью-Іоркѣ, С. Луи., Филадельфіи и Чикаго. См. объ этомъ Uhland's practische Maschinen-Constructeur 1889 г. № 15.

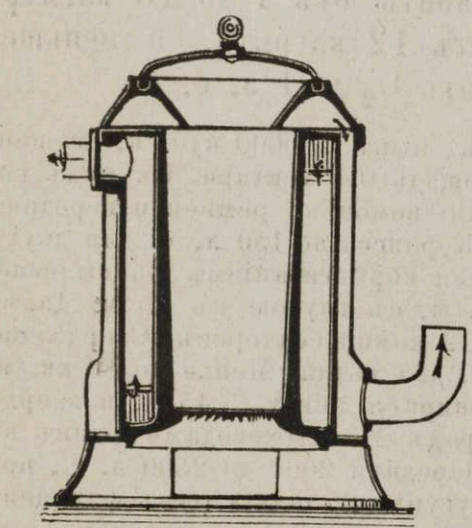
d) Въ Парижѣ въ Бельвилѣ; e) въ Берлинѣ и Вѣнѣ также имѣются передачи силы сжатымъ воздухомъ: въ Парижѣ для движенія пневматическихъ часовъ и рабочихъ машинъ, въ Берлинѣ и Вѣнѣ для трубной почты. Онѣ описаны у Мейснера „Die Kraftübertragung auf weite Entfernungen“, а также у Ридлера „Die Kraftversorgung von Paris durch Druckluft“. Тамъ же описана передача силы помощію разрѣженнаго воздуха въ Парижѣ; изъ трубъ воздухъ выкачивается воздушными насосами до разрѣженія 70 до $75^0/_0$ (0,25 до 0,30 атм. абс.); эти трубы ведутся въ мастерскія абонентовъ силы и соединяются съ воздушными двигателями, въ которыхъ движущею силою является избыточное давленіе атмосфернаго воздуха сверхъ разрѣженнаго въ трубахъ; употребляются три разряда воздушныхъ двигателей: 1) качающіеся для работы отъ 1 до 10 клгмтр. въ секунду; 2) вращательные для работы отъ 12 клгрмтр. и меньше; 3) съ трубчатыми поршнями (машина Пенна) отъ $^1/_2$ до 1 л. с.

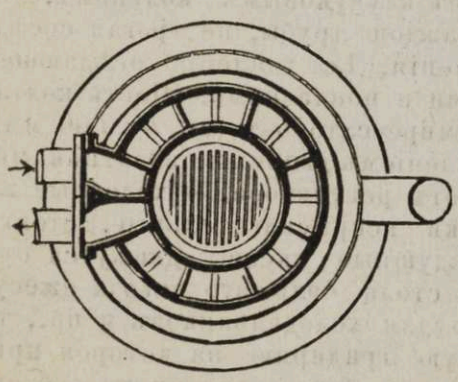
Общество сжатаго воздуха въ Парижѣ доставляетъ нынѣ 250000 куб. м. сгущеннаго воздуха въ сутки и ея строенія занимаютъ площадь 0,4 гектара. Въ нихъ помѣщаются 2 машины Фарко по 120 л. с., двигающія помощію ремней и передачъ компрессаторы Соттеръ-Лемонье; двѣ вертик. машины Корлисса по 150 л. с. для двухъ компрессаторовъ системы Кассъ. Охлажденіе дѣлается впрызгиваніемъ распыливаемой воды. Въ котельной два котла Фарко по 80 кв. м. съ трубою въ 25 м. Далѣе 6 машинъ Давей-Паксманъ въ 350 л. с. двигаютъ 12 компрессаторовъ Стерджена; конежей для воздуха 7 по 30 куб. м.=210 куб. м., два котла Менье по 80 кв. м. и 9 котловъ Давей-Поксманъ съ трубою въ 40 м. (ширина внизу 5,45 м. и вверху 3,10 м.). Изъ резервуаровъ воздухъ ведется въ городъ 2 воздуховодами одинъ въ 300 мм., другой въ 80 мм., коихъ достаточно для передачи 2000 до 2500 л. с., при чемъ скорость воздуха=10 м. въ секунду. Трубы чугунныя гладкія (безъ флянцевъ и муфтъ), на концы коихъ надвигается сальникъ съ каучуковымъ кольцомъ; это простое соединеніе дозволяетъ быструю разборку каждой трубы, не трогая сосѣднихъ трубъ, и облегчаетъ быструю вставку отвѣтвленій. Для удаленія осѣдающей воды вставлены самодѣйствующіе сифоны съ сѣтками и поплавками. Шесть колтаундъ машинъ (съ D=557 и 889 мм.) двигаютъ 12 компрессаторовъ (съ D=600 мм.) и общій ходъ 1219 мм.; горячіе цилиндры съ распредѣленіемъ двойными золотниками, изъ коихъ отсѣчные перестанавливаются кулиссою отъ регулятора, — холодные же цилиндры имѣютъ простые золотники. Холодильники впрыскивательные, стоятъ подъ машинами и ихъ двудѣйствующіе лежачіе воздушные насосы движутся отъ кривошиповъ холодныхъ цилиндровъ. Такъ какъ для столь большаго завода ежесуточно требуется весьма много охлаждающей воды для холодильниковъ и пр., то общество для сбереженія расходовъ устроило большую градирню на которой притекающая изъ холодильниковъ теплая вода стекаетъ въ мелкораздробленномъ состояніи, при чемъ охлаждается. Вода изъ градирни собирается въ каменномъ бассейнѣ, въ коемъ дѣлается также выдѣленіе жирныхъ составныхъ частей. Для питанія кот-

ловъ служитъ кромѣ воды изъ водопровода еще охлаждающая вода компрессаторовъ, которая оставляетъ рубашку послѣднихъ при 60°. Въ копежахъ находятся перегородки, измѣняющія направленіе воздуха и чрезъ то выдѣленіе изъ него воды. Въ настоящее время предположено увеличить производительность до 350000 куб. м. въ сутки, для чего устроить копежъ въ 12000 куб. м. въ видѣ подземнаго канала на глубинѣ 80 м., который для непроницаемости долженъ быть обложенъ камнемъ и одѣтъ свинцомъ, шахтная труба будетъ соединена съ надземнымъ водянымъ бассейномъ, такъ что каналъ (штольня) и труба наполнятся водою; потомъ сгущенный воздухъ долженъ вытѣснять воду изъ копежа и трубы въ бассейнѣ и такимъ образомъ находиться подъ постояннымъ давленіемъ 8 атм. Въ 1888 г. въ Сентябрѣ компрессаторы всасывали 3850268 куб. м. воздуха; въ октябрѣ 5102513 куб. м., въ Ноябрѣ 5716354 куб. м. и въ Декабрѣ 6844064 куб м. сгущеннымъ воздухомъ 1-го Октября 1888 г. работали 9 центральныхъ станцій для электрическаго освѣщенія (изъ нихъ 6 съ 100 л. с. и 3 съ 50 л. с.) и 16 домовъ съ 300 л. с.; всего было 5200 лампъ накаливанія и 127 съ дугою. Кромѣ того большое число подъемниковъ, мельницъ, машинъ-орудій и пр. съ 1500 л. с., а остатокъ движущей силы употребляется для движенія 4500 частныхъ и 7800 городскихъ пневматическихъ часовъ и для полученія холоднаго воздуха; для поднимания вина, пива и пр. изъ погребовъ; для трубчатой почты въ домахъ и т. д. Воздушные движители до 2 л. с. дѣлаются съ вращающимся поршнемъ и притомъ отъ 3 клгрмтр. до ½ л. с. безъ самодѣйствующаго регулированія, при большей работѣ съ регуляторомъ на горловой клапанъ въ воздуховодѣ. Машины отъ 2 до 100 л. с. строятся въ видѣ обыкновенныхъ паровыхъ машинъ съ кривошипомъ: до 40 и 50 л. с. одноцилиндровыя, для большей работы или для болѣе равномѣрнаго хода двойныя; распредѣленіе дѣлается двойнымъ золотникомъ. Общій установъ большихъ машинъ слѣдующій (фиг. 483): отвлеченіе, обыкновенно изъ винца, вводится внутрь зданія и здѣсь имѣетъ запорный крантъ. За нимъ въ трубку вставляется сито, затѣмъ воздушный мѣшокъ для уравниванія давленія, потомъ воздухомѣръ С, по указанію коего взимается плата (1½ сантима за куб. м., тогда какъ сжатая вода стоитъ въ Парижѣ 32 сантима) далѣе вентиль *v*, уменьшающій давленіе (отъ 6 атм. въ главномъ проводѣ до 4 или 4½ атм. въ машинѣ.) Воздушные движители для освѣщенія помѣщаются въ погребахъ и переходахъ, для небольшихъ мастерскихъ на потолкахъ, оконныхъ рамахъ, на балкахъ и т. п.; пусканіе ихъ дѣлается просто чрезъ открываніе воздушнаго кранта. Заслуживаетъ упоминанія самодѣйствующее приспособленіе для смазки, состоящее изъ смазочнаго горшка, соединеннаго небольшою трубочкою съ воздуховодомъ, а другая регулирующая трубочка ведетъ смазочное масло въ цилиндръ по каплямъ; это приспособленіе работаетъ автоматически и требуетъ отъ надсмотрщика только своевременное наполненіе горшка. Замѣчательно приспособленіе для избѣжанія шума отъ выхода воздуха изъ машины, для чего въ выходную трубу вставлены особые горшки, которые и принимаютъ шумъ выхода, не увеличивая противодавленія. Столь же замѣчательны очень простыя устройства, употребляемыя въ Парижѣ для избѣжанія шумнаго хода машинъ, сотрясеній и пр. при установкѣ и укрѣпленіи машинъ на фундаментахъ. Подогрѣваніе рабочаго воздуха дѣлается простыми угольными или же коксовыми печками *O*, состоящими изъ двух-



фиг. 483.





фиг. 484—485.

стѣннаго чугуннаго цилиндра, въ которомъ отлиты радіальныя ребра, которыя вверху и внизу такъ просверлены, что вошедшій воздухъ долженъ подниматься и опускаться по клѣткамъ, образуемымъ этими ребрами (фиг. 484 и 485) и принимать теплоту отъ стѣнокъ (до 150—170°); отопленіе дѣлается внутри углемъ на плоской рѣшеткѣ и горячіе газы выходятъ сбоку въ к. н. вытяжной каналъ; сверху печь закрыта крышкою съ песчанымъ уплотненіемъ. Стоимость нагрѣванія 1 сантимъ въ часъ на 1 полезную л. с., т. е. ничтожная. Вмѣстѣ съ тѣмъ въ этомъ состоитъ существенная новинка въ примѣненіи сжатаго воздуха.

II. Аэростатика или пневматика

ИЛИ УЧЕНІЕ О ДВИЖЕНІИ ГАЗООБРАЗНЫХЪ ТѢЛЪ.

152. Истеченіе постояннаго газа изъ отверстія резервуара. 1. Обозначимъ: P (абсолютное) удѣльное давленіе газа въ большомъ резервуарѣ, въ который непрерывно подводится вытекающее количество газа, въ килогр. на кв. м.; p постоянное удѣльное давленіе въ пространствѣ, куда газъ вытекаетъ, въ килогр. на кв. м.; t_1 температура въ резервуарѣ въ градусахъ Ц.; γ вѣсъ 1 куб. метра газа при давленіи P и температурѣ t_1 въ клгр.; $\alpha=1:a=1:273$ коэфф. расширенія газа; n отношеніе удѣльной теплоты при постоянномъ давленіи къ уд. т. при постоянномъ объемѣ (для воздуха $n=1{,}41$); φ коэфф. скорости; g ускореніе тяжести$=9{,}81$ м.; R и a постоянныя величины закона Маріотта-Гей-Люссака. Скорость вытекающаго воздуха:

$$v=\varphi\sqrt{2g\frac{n}{n-1}\cdot\frac{P}{\gamma}\left(1-\frac{p}{P}\right)^{\frac{n-1}{n}}},\text{ при чемъ }\sqrt{2g\frac{P}{\gamma}}=$$

$$23{,}96\sqrt{273+t_1}=396\sqrt{1+\alpha t_1}.$$

При хорошемъ округленіи отверстія слѣдуетъ взять $\varphi=0{,}981$. Температура t_2 вытекшаго газа будетъ $t_2=t_1-\frac{v^2}{2gR}\cdot\frac{n-1}{n}$; при $\varphi=1$ было бы $t_2=T_1\left(\frac{p}{P}\right)^{\frac{n-1}{n}}$, гдѣ $T_1=a+t_1$.

Удѣльный объемъ v_2 вытекшаго газа получается изъ $v_2=RT_2:p$, гдѣ $T_2=a+t_2$.

Расходъ газа M въ секунду въ куб. метр. (измѣренный при внутреннемъ давленіи P и внутренней температурѣ t_1) чрезъ отверстіе съ площадью F (въ кв. м.) будетъ

$$M=734\mu F\sqrt{1+\frac{t_1}{273}}\sqrt{\left(\frac{p}{P}\right)^{1{,}41844}-\left(\frac{p}{P}\right)^{1{,}70922}}$$

гдѣ μ означаетъ коэффиціентъ расхода. Для перевода на объемъ M_0 при давленіи p_0 и температурѣ t_0 помѣщенія воздуходувки служитъ формула

$$M_0=MPT_0:p_0T_1=MP(a+t_0):p_0(a+t_1).$$

Для воздуха эти формулы могутъ служить до тѣхъ поръ, пока низшее давленіе составляетъ по крайней мѣрѣ 0,527 отъ большаго.

По Гауеру для коническихъ сопелъ слѣдуетъ взять. . $\mu=0{,}86$, а для цилиндрическихъ насадокъ при безсемеровскихъ мѣхахъ . . . . . $\mu=0{,}78$

По Вейсбаху для круглыхъ отверстій въ тонкой стѣнкѣ діаметромъ отъ 10 до 24 мм. коэффиціентъ. . . $\mu=0{,}555$ до $0{,}787$ и увеличивается съ разностію давленій; а для короткихъ цилиндрич. насадокъ того же d и тройной длины . . . . . $\mu=0{,}730$ до $0{,}833$

Для округленныхъ внутри короткихъ или длинныхъ коническихъ сопелъ . . . . . $\mu=0{,}95$ до $0{,}97$

Для коническихъ сходящихся трубъ . . . . . $\mu=0{,}91$ до $0{,}964$

153. Истеченіе воздуха при разности давленій отъ 0 до 1,4 атм.

(Приблизительныя формулы Густава Шмидта).

Обозначимъ: b барометрическое стояніе воздуха въ помѣщеніи воздуховки; h_1 высота по манометру давленія воздуха въ воздухопроводныхъ трубахъ возлѣ сопелъ; h_2 высота давленія въ пространствѣ, куда воздухъ вдувается; $h>h_1$ давленіе дутья въ регуляторѣ; β стояніе барометра въ уровнѣ моря; E полезная работа вытекающаго изъ сопелъ воздуха (полезное дѣйствіе дутья); N число лошадиныхъ силъ воздуходувной машины, принимая въ соображеніе всѣ потери дутья и вредныя сопротивленія; τ повышеніе температуры воздуха въ воздуходувкѣ въ градусахъ Ц.; $\alpha, t_0, t_1, T_1 \mu$ и M_0 тѣ же, что въ α стр. 472, то для произвольной системы мѣръ

$$M=\sqrt{773{,}26\times 13{,}6}\,\lambda\mu\,F\frac{\sqrt{(b+h_2)\beta}}{b\sqrt{1+\alpha t_1}}(1+\alpha t_0)\sqrt{2g(h_1-h_2)}.$$

Для метрической системы при $\beta=0{,}76$; $\mu=0{,}85$; и F въ кв. м.

$$M=336{,}6\lambda F\frac{\sqrt{(b+h_2)}}{b\sqrt{1+\alpha t_1}}(1+\alpha t_0)\sqrt{h_1-h_2},\ \text{гдѣ}\ \lambda=1-0{,}03\frac{h_1-h_2}{b+h_2}.$$

Примѣръ. Даны въ мм. ртутнаго столба: $b=740$; $h_1=180$; $h_2=80$; слѣд. $p_0=740.13{,}6$; $P=920.13{,}6$ и $p=820.13{,}6$; далѣе $t_0=10^0$; $t_1=150^0$; получимъ $M_0=108{,}06\,F$. Точная формула (подъ α стр. 472) напротивъ даетъ при $\mu=0{,}85$ $M=129{,}89\,F$ и послѣ перевода $M_0=108{,}04\,F$.

Полезная работа дутья будетъ: $E=13{,}6\varphi M_0 h_1$, причемъ:

$$\varphi=0{,}986-0{,}275\frac{h_1}{b},\ \text{если}\ \frac{h_1}{b}<0{,}47$$

$$\varphi=0{,}932-0{,}160\frac{h_1}{b},\ \text{„}\ \frac{h_1}{b}>0{,}47\ \text{и}<1{,}4$$

Эта работа м. б. принята $=0{,}55$ работы воздуходувной машины; поэтому

$$N=\frac{E}{0{,}55\times 0{,}75}=2{,}5E.$$

Повышеніе температуры воздуха

$$\tau = 1{,}2 + 70\frac{h}{b}, \text{ если } \frac{h}{b} < 0{,}54; \quad \tau = 12{,}0 + 50\frac{h}{b}, \text{ если } \frac{h}{b} > 0{,}54 \text{ и } < 1{,}4$$

154. Движеніе воздуха въ трубахъ. По Густ. Шмидту (на основаніи наблюденій Штокалпера въ Готтардскомъ туннелѣ) потеря давленія z въ м. водянаго столба на длинѣ L м. для длинныхъ чугунныхъ воздухопроводныхъ трубъ діаметромъ отъ 0,15 до 0,20 м. будетъ:

$$z = \frac{785L}{10^{10}\,d}\,\delta\left(5 + \frac{1}{d}\right)c^2$$

если δ вѣсъ 1 куб. м. воздуха въ трубахъ въ клгр.; c скорость воздуха въ м. и d діаметръ трубъ въ м. Величины c и δ находимъ такъ:

Пусть V_0 объемъ (въ куб. м.) воздуха, протекающаго чрезъ трубы въ секунду при 1 атмосф. давленія и при 0°Ц.; p среднее абсолютное давленіе воздуха въ трубахъ въ атм.; t температура въ трубахъ въ градусахъ Ц.; проходящій чрезъ трубы объемъ въ секунду при среднемъ давленіи p.

$$V = \frac{V_0}{p}(1 + 0{,}00367t) \text{ слѣд. } c = \frac{V}{0{,}25\pi d^2}; \quad \delta = \frac{1{,}2932p}{1 + 0{,}00367t}$$

Потеря давленія z въ клгр. на кв. метръ будетъ:

$$z = \lambda\frac{L}{d}\,\delta\,\frac{c^2}{2g}, \text{ гдѣ } \lambda = 0{,}00154\left(5 + \frac{1}{d}\right).$$

По Вейсбаху λ зависитъ отъ c и для c равнаго 25 до 105 м.:

для лат. трубъ	10 мм.	діам.	$\lambda = 0{,}0273$	до	0,0148
	14,1 „	„	$\lambda = 0{,}0258$	„	0,0121
„ стекл. „	10 „	„	$\lambda = 0{,}0273$	„	0,0139
	14,1 „	„	$\lambda = 0{,}0266$	„	0,0094
„ цинк. „	24 „	„	$\lambda = 0{,}0230$	„	0,0134 при $v = 25$ до 80 м.

Потеря давленія при проходѣ воздуха чрезъ колѣнчатую трубу въ клгр. на кв. метръ: $z_1 = \zeta\gamma c^2 : 2g$ и при 10 мм. діаметра $\zeta = 1{,}61$; при 14,1 мм. діаметра $\zeta = 1{,}24$.

Если давленіе въ трубопроводѣ при началѣ трубъ обозначить буквою p' (въ абсолютныхъ атмосферахъ или въ килограммахъ на квадратный сантиметръ), а въ концѣ черезъ p'', среднюю температуру воздуха въ трубопроводѣ черезъ t_m, объемъ воздуха, протекающій черезъ трубы въ секунду, черезъ V (въ куб. метр.), скорость воздуха черезъ c. Тогда потеря давленія въ трубахъ $p' - p'' = z$.

Предъ постройкою Мон-Сенисскаго туннеля были произведены опыты, опубликованные потомъ въ отчетѣ инженеровъ Главнаго Управленія Италіанскихъ желѣзныхъ дорогъ въ 1863 г. Изъ полученныхъ результатовъ была выведена формула:

$$p' - p'' = \frac{0{,}00936}{10334}\,\frac{c^2 L}{d}.$$

Результаты опытовъ, дополненные величинами, вычисленными изъ этой формулы, сопоставлены въ слѣдующей табличкѣ:

Скорость воздуха при началѣ трубопровода c.	Потеря давленія въ атм. при длинѣ провода въ 1000 м. и ширинѣ трубъ $d=$					
	0,01	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
1	0,008	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003
2	0,034	0,024	0,017	0,014	0,012	0,010
3	0,082	0,055	0,041	0,033	0,028	0,024
4	0,142	0,095	0,071	0,058	0,047	0,040
5	0,219	0,147	0,110	0,088	0,074	0,063
6	0,307	0,205	0,154	0,124	0,102	0,088

Болѣе новые опыты сдѣланы Штокалпером, инженеромъ общества постройки Готтардскаго туннеля, произведенные имъ въ Декабрѣ 1878 г. на сѣверной сторонѣ туннеля. Разсматриваемый проводъ изъ чугунныхъ и тянутыхъ желѣзныхъ трубъ имѣлъ длину 4600 м. при 20 снт. въ діаметрѣ и 522 м. длины при 15 стм. діаметра. Густота воздуха измѣрялась въ 8 разныхъ мѣстахъ воздухопровода помощію манометровъ Бурдона. Потери воздуха вслѣдствіе неплотностей остались не приняты въ соображеніе. Температуры наблюдались посредствомъ термометровъ, опущенныхъ въ проводъ, при чемъ оказалось, что не смотря на различныя давленія и скорости воздуха въ одномъ и томъ же мѣстѣ провода температуры едва разнились на полградуса; далѣе что эта температура равномѣрно увеличивается съ температурою туннеля и почти постоянно остается на 3° ниже оной, такъ что при всѣхъ опытахъ средняя температура соотвѣтствующаго воздухопровода могла считаться постоянною. Поэтому въ подобныхъ случаяхъ достаточно класть въ основаніе опытовъ или вычисленій среднюю температуру туннеля.

Слѣдующая таблица даетъ результаты опытовъ по сообщенію: Revue universelle des mines 1880, Bd. 7, S. 257 до 280.

Нумеръ опыта.	1	2	3	4	5	6
V_0 =	0,936	0,936	0,623	0,623	0,520	0,520
d =	0,200	0,150	0,200	0,150	0,200	0,150
L =	4600	522	4600	522	4600	522
p' =	5,66	5,24	4,35	4,13	3,84	3,65
p'' =	5,24	5,00	4,13	4,00	3,65	3,545
p =	5,42	5,12	4,285	4,065	3,745	3,597
$p' - p''$ =	0,36	0,24	0,22	0,13	0,19	0,105
t_m =	21	26,5	21	26,5	21	26,5
V =	0,185	0,200	0,156	0,168	0,149	0,158
δ =	6,500	6,03	5,14	4,79	4,49	4,23
c =	5,889	11,318	4,966	9,516	4,747	8,942
c^2 =	34,677	128,09	24,66	90,56	22,53	79,96

V есть количество воздуха въ куб. м., протекающее чрезъ проводъ въ секунду при среднемъ давленіи $p=\frac{p'+p''}{2}$; V_0 есть количество воздуха приведенное къ атмосферному давленію. По предъидущему

$$V=\frac{V_0}{p}(1+0{,}00367t_m).$$

Вѣсъ 1 кубич. метра сжатаго воздуха при давленіи p есть

$$\delta=\frac{10334p}{29{,}27(273+t_m)}=\frac{1{,}2932p}{1+0{,}00367t_m}.$$

Штокалперъ нашелъ, что результаты его опытовъ хорошо согласуются съ результатами формулы, данной Дарси для вычисленія потери напора въ водопроводныхъ трубахъ. Эта формула Дарси въ примѣненіи къ воздуху даетъ по Штокалперу:

$$p'-p''=\frac{JL}{10334}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

гдѣ $J=\alpha V^2\frac{\delta}{1000}$ и $\alpha=\frac{3{,}2423}{10^8}\left(50700+\frac{1294}{d}\right)\frac{1}{d^5}$. Формулу (1) можно еще написать

такъ $$p'-p''=\alpha V^2 L\frac{p}{29{,}27(273+t_m)}.$$

По Жирару, Добюиссону, Пекеру

$$10334(p'-p'')=0{,}024\frac{L}{d}\delta\frac{c^2}{2g}; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

по Вейсбаху

$$10334(p'-p'')=\frac{0{,}12\,L}{\sqrt{c}}\delta\frac{c^2}{2g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

по Морену

$$10334(p'-p'')=\frac{c^2}{2g}\delta\left(1+0{,}0252\frac{L}{d}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

по Арсону

$$10334(p'-p'')=\frac{4L}{d.10^6}\delta\,(ac+bc^2), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

гдѣ при $d=0{,}2$ $a=330$ $b=395$
$d=0{,}15$ $a=440$ $b=330$.

Густавъ Шмидтъ вычислилъ изъ опытовъ Штокалпера формулу:

$$(p'-p'')=\frac{76}{10^{10}}\frac{L}{d}\delta\left(5+\frac{1}{d}\right)c^2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Грасговъ составилъ изъ опытовъ Вейсбаха формулу:

$$10334(p'-p'')=\lambda\frac{c^2}{2g}\frac{L.\delta}{d}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

гдѣ $$\lambda=0{,}01355+\frac{0{,}001235+0{,}01d}{d\sqrt{c}}$$

при этомъ δ и c слѣдуетъ относить къ среднему давленію . Далѣе Густавъ Шмидтъ вывелъ изъ формулы Грасгова еще слѣдующую формулу:

$$p'-p''=\psi\frac{c^2L\delta}{10^8d}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

гдѣ $$\psi=6{,}6847+\frac{0{,}60928+4{,}9334\,d}{d\sqrt{c}}.$$

Гауеръ и за нимъ Рейхе рекомендуютъ формулу:

$$p'-p''=0{,}000\,000\,159\frac{L}{d}c^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

При передачѣ силы, помощію разрѣженнаго воздуха, построенной въ Парижѣ найдено изъ опытовъ

$$p'-p''=0{,}00416\frac{L}{10^8d^4}c^2.$$

Если по этимъ 10 формуламъ опредѣлить сопротивленіе трубъ для того самаго воздухопровода, на которомъ Штокалперъ произвелъ свои опыты, то получаются слѣдующія величины:

Нумеръ опыта.	1	2	3	4	6	9
Формула 1	0,57	0,30	0,32	0,17	0,25	0,135
„ 2	0,61	0,31	0,345	0,175	0,27	0,14
„ 3	1,25	0,46	0,76	0,29	0,63	0,23
„ 4	0,64	0,34	0,30	0,15	0,29	0,15
„ 5	0,90	0,48	0,52	0,27	0,41	0,22
„ 6	0,394	0,238	0,221	0,134	0,177	0,104
„ 7	0,51	0,25	0,29	0,14	0,23	0,11
„ 8	0,50	0,25	0,30	0,14	0,24	0,114
„ 9	0,13	0,07	0,91	0,05	0,083	0,044
Наблюдаемая величина.	0,36	0,24	0,22	0,13	0,19	0,105

Вышеупомянутыя различныя формулы только тогда примѣнимы, когда измѣненія давленія въ воздухопроводѣ не велики. Если же оныя значительны, то потеря давленія находится по Грасгову (въ предположеніи постоянной температуры) изъ

$$(p'-p'')=p'\left(1-\sqrt{1-\frac{2\lambda}{29{,}27\,T}\,\frac{c'^2}{2g}\,\frac{L}{d}}\right);$$

гдѣ λ прежде указанный коэффиціентъ, c' начальная скорость воздуха; $T=273+t$. Если воздухопроводъ не горизонталенъ, но на длинѣ L имѣется подъемъ онаго на h метровъ, то

$$p'-p''=p'\left(1-\sqrt{1-\frac{2}{29{,}27\,T}\left(\lambda\,\frac{c'^2}{2g}\,\frac{L}{d}+h\right)}\right).$$

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія воздухопровода опредѣляется по

$$\eta_1=1-\frac{log.\,\frac{p'}{p''}}{log.\,p'}=\frac{log.\,p''}{log.\,p'}=1+\frac{log.\sqrt{\frac{2\lambda}{29{,}27\,T}\,\frac{c'^2}{2g}\,\frac{L}{d}}}{log.\,p'}.$$

Примѣръ. Грасговъ вычисляетъ въ его „Theoretischen Maschinenlehre“ слѣдующій примѣръ воздухопровода для буренія туннеля.

Пусть изъ долины вблизи устья туннеля, гдѣ воздухъ сжимается до 6-кратнаго давленія, требуется проводить къ мѣсту работъ въ туннелѣ 1 клгр. воздуха въ секунду помощію трубъ длиною $L=5000$ м.; подъемъ трубъ достигаетъ $h=150$ м., изъ коихъ около $^3/_4$ приходится на участокъ трубъ, лежащій снаружи на склонѣ горы до устья туннеля, $^1/_4$ на главный участокъ лежащій въ самомъ туннелѣ. Въ мѣстности установки компрессаторовъ пусть среднее стояніе барометра=0,7 м.; средняя температура воздуха=0,7° тогда какъ средняя температура въ туннелѣ предполагается въ 27°. Избыточное давленіе сжатаго воздуха при началѣ провода соотвѣтствуетъ стало быть столбу ртути въ 5.0,7=3,5 м.; ширину d трубъ нужно выбрать такъ, чтобы въ проводѣ потерялись только 10% этого избыточнаго давленія, т. е. въ мѣстѣ работъ оставалось бы для дѣйствія бурильныхъ машинъ избыточное давленіе около 3,15 м. ртутнаго столба. Если сгущеніе воздуха совершается такъ, что при этомъ процессѣ не происходитъ видимаго отнятія теплоты, то абсолютная температура воздуха отъ 273+7=280° повышается до

$$280\,.\,6^{\frac{x-1}{x}}=471{,}5^0.$$

Потребная для сгущенія 1 клгр. воздуха теоретическая работа

$$=\frac{x}{x-1}\,pv\left[\left(\frac{p^2}{p}\right)^{\frac{x-1}{x}}-1\right]=\frac{29{,}27}{0{,}2908}\,(471{,}5-280)=19350\ \text{клгрмтр.}$$

такъ какъ $x=1{,}41$; $p_2 : p=6$; $pv=29{,}27\,T=29{,}27.280$. Въ нашемъ случаѣ это будетъ также работа въ секунду; слѣдовательно она $=19350 : 75=258$ л. с.

Такъ какъ во время сжатія теплота отдается черезъ охлажденіе, то этотъ расходъ работы будетъ меньше; далѣе такъ какъ сжатый воздухъ проводится сначала въ копежъ, въ которомъ равно какъ и въ (идущемъ отъ него къ мѣсту работъ) трубопроводѣ происходитъ дальнѣйшее охлажденіе, то среднюю температуру во всемъ трубопроводѣ можно предполагать $=270$, также и температуру воздуха въ туннелѣ (т. е. T) постоянною и $=300$. Теперь начальное давленіе воздуха

$$p'=1{,}0333.\frac{4{,}2}{0{,}76}=5{,}71 \text{ клгр. на 1 квадр. сантиметръ.}$$

Удѣльный объемъ этого воздуха будетъ

$$v=\frac{29{,}27.3T}{p}=\frac{29{,}27\,.\,300}{57103}=0{,}1545.$$

Если примемъ въ видѣ пробы ширину трубъ $d=0{,}2$ м.; слѣдовательно $f=\pi d^2 : 4=0{,}031416$, то начальная скорость будетъ $c_1=v : f=0{,}1545 : 0{,}031416=4{,}92$ м. Этой скорости и $d=0{,}2$ м. соотвѣтствуетъ коэффиціентъ потери давленія

$$\lambda=0{,}01355+\frac{0{,}001235+0{,}01d}{d\sqrt{c_1}}=0{,}02084.$$

Такъ какъ скорость въ концѣ трубъ увеличивается, то можно считать $\lambda=0{,}0205$ какъ достаточную среднюю величину. Упругость въ концѣ провода вычисляется изъ

$$p''=p'\sqrt{1-\frac{2}{29{,}27\,T}\left(\lambda\frac{c_1^2 L}{2gd}+h\right)}=5{,}71\sqrt{1-\frac{2}{29{,}27.300}\left(0{,}0205\frac{4{,}92^2.5000}{29{,}81\,.\,0{,}2}+150\right)}=$$

$$=5{,}71\,.\,0{,}907=5{,}18 \text{ клгр. на 1 кв. сантиметръ.}$$

Конечное давленіе, выраженное высотою ртутнаго столба, будетъ $0{,}9071.4{,}2=3{,}81$ м. Но съ подниманіемъ на 150 м. наружное давленіе воздуха уменьшается; такъ какъ удѣльный вѣсъ разсматриваемаго слоя воздуха (при высотѣ барометра почти 0,7 м. и абсолютной температурѣ 285^0) можно принять

$$=\frac{10333\,\frac{0{,}7}{0{,}76}}{29{,}4\,.\,285}=1{,}1358$$

то уменьшеніе давленія будетъ на

$$\frac{150\,.\,1{,}1358}{13596}=0{,}013 \text{ м. высоты ртутнаго столба}$$

(вѣсъ 1 куб. м. ртути $=13596$ клгр.). Поэтому при $d=0{,}2$ м. на концѣ трубопровода было бы избыточное давленіе надъ среднею высотою ртути въ барометрѣ

$$=3{,}810-0{,}687=3{,}123 \text{ м. или}=3{,}123\,.\,13596=42460 \text{ клгр. на кв. м.}$$

такъ что принятая ширина трубъ почти соотвѣтствуетъ заданному требованію.

155. Двигающая сила вѣтра. Вѣтеръ является въ видѣ двигающей силы, подобнымъ же образомъ, какъ текущая вода; поэтому законы, данные для воды, можно почти точно примѣнять и для двигающагося воздуха.

Давленіе, которое потокъ воздуха производитъ на неподвижную плоскость F нормальную къ направленію движенія

$$P=\zeta\gamma F\frac{v^2}{2g}$$

гдѣ ζ опытный коэффиціентъ, измѣняющійся съ величиною плоскости отъ 1,86 до 3; v скорость въ м. и γ вѣсъ куб м. воздуха въ клгр. При $\zeta=1{,}86$ и $\gamma=1{,}292$ (при 13^0 температуры и нормальномъ стояніи барометра)

$$P=0{,}12248F^{\,2},$$

Названіе вѣтра.	Скорость v въ м.	Давленіе въ килогр. на кв. м.	Названіе вѣтра.	Скорость v въ м.	Давленіе въ килогр. на кв. м.
Тихій вѣтеръ	2,5	0,765	Сильный вѣтеръ	15	27,558
Свѣжій вѣтеръ.	4,7	2,706	Штурмъ	30	110,250
Хорошій мельничн. . .	7	6,001	Ураганъ	40	195,968

Давленіе вѣтра на цилиндръ (газгольдеръ)=0,57 того давленія, которое онъ производитъ на площадь равную проэкціи цилиндра. Если вѣтеръ дѣйствуетъ на неподвижную плоскость какъ угломъ α, то давленіе нормальное къ плоскости будетъ:

$$P=\zeta\gamma F\frac{v^2}{2g}\sin^2\alpha.$$

Давленіе P_1 по направленію v будетъ:

$$P_1=\zeta\gamma F\frac{v^2}{2g}\sin\alpha$$

3. Обозначимъ для движущейся плоскости (колеса вѣтряныхъ мельницъ): V скорость вѣтра по направленію оси вѣтрянаго колеса; ω угловая скорость колеса; $v=x.\omega$ окружная скорость элемента dF площади крыла на разстояніи x отъ оси; l длина крыла; w окружная скорость на разстояніи l; b постоянная ширина крыла; n число крыльевъ (*обыкн.*=4); φ перемѣнный уголъ наклона площади крыла къ направленію вѣтра; его наименьшая величина пусть=β и его наибольшая=α; γ =1,293 клгр. вѣсъ 1 куб. м. атмосф. воздуха; k опытный коеффиціентъ (обыкн. k=3); тогда движущее давленіе на элементъ dF площади на разстояніи x отъ оси крыльевъ:

$$p.\cos\varphi=\frac{k\gamma}{2g}dF(V\sin\varphi-v\cos\varphi)^2\cos\varphi.$$

Эта величина будетъ наибольшая, если

$$tg\varphi=\frac{3}{2}\frac{v}{V}+\sqrt{2+\left(\frac{3}{2}\frac{v}{V}\right)^2}.$$

Изъ опытовъ найдено, что при l=12 м. отношеніе $w:V=l\omega:V=$ =2,32; по этому $v:V=x\omega:V$=0,193x. Отсюда (при помощи уравненія для $tg\,\varphi$) получаемъ:

x	1 м.	2 м.	3 м.	4 м.	5 м.	6 м.	7 м.	8 м.	9 м.	10 м.	11 м.	12 м.
φ	60° (β)	64°39′	68°27′	71°30′	73°57′	75°24′	77°29′	78°48′	79°48′	80°54′	81°29′	82°8′ (α)

Механическая работа, передаваемая вѣтряному колесу давленіемъ вѣтра:

$$E=\frac{2}{81}nk\gamma\frac{bV^4}{\omega g}\left[\frac{1}{\cos\varphi}+\frac{\cos^3\varphi+\cos\varphi}{2\sin^4\varphi}+\frac{3}{2}\log.\ tg\frac{\varphi}{2}\right]\cdot\frac{\varphi=\alpha}{\varphi\quad\beta}.$$

ТЕПЛОТА.

Общія формулы и таблицы.

156. **Расширеніе тѣлъ отъ теплоты.** 1. Расширеніе твердыхъ тѣлъ. Различаютъ линейное, поверхностное и кубическое расширеніе.

а) Линейное расширеніе. Расширеніе одного и того же тѣла внутри нѣкоторыхъ предѣловъ равномѣрно, т. е. при одинаковомъ числѣ градусовъ длина полосы увеличивается на одинаковую часть своей первоначальной длины.

Если длина тѣла=1, то при нагрѣваніи отъ 0 до 100°Ц. его длина увеличивается на величину данную въ слѣдующей таблицѣ.

Таблица линейнаго расширенія различныхъ тѣлъ при нагрѣваніи отъ 0° до 100°Ц.

Вещество.	Увеличеніе длины.	Вещество.	Увеличеніе длины.
Свинецъ . .	0,002848 $\frac{1}{351}$	Желѣзо . . .	0,001235 $\frac{1}{812}$
Стекло	0,000861 $\frac{1}{1161}$	Сталь незакален. .	0,001079 $\frac{1}{927}$
Чугунъ	0,001110 $\frac{1}{901}$	„ закаленная.	0,001239 $\frac{1}{807}$
Мѣдь.	0,001718 $\frac{1}{582}$	Латунь	0,001868 $\frac{1}{535}$
Ртуть	0,006006 $\frac{1}{166,5}$	Вода. . . .	0,015533 $\frac{1}{71,4}$
Олово	0,001938 $\frac{1}{510}$	Цинкъ	0,002942 $\frac{1}{340}$

При болѣе высокихъ температурахъ расширеніе уже не равномѣрно, но увеличеніе длины возрастаетъ съ температурою. Напримѣръ по Дюлонгу и Пти удлиненіе

при нагрѣваніи отъ 0 до 300°Ц.		при нагрѣваніи отъ 0 до 300°Ц.	
для стекла	0,003252	для желѣза	0,004405
„ платины	0,002755	„ мѣди	0,005650

Примѣръ. На сколько расширяется желѣзная полоса въ 5 м. длиною, если ея температура отъ 20°Ц. повышается на 90°Ц.

Линейное расширеніе для 100°Ц. . . . . 5.0,001235=0,006155 м.
„ „ „ 70°Ц. . . . . $\frac{70}{100}$.0,006155=0,004303 „

Чтобы найти расширеніе той же самой полосы при нагрѣваніи отъ 220° до 290°Ц., должно коэффиціентъ 0,001235 замѣнить чрезъ 0,004405 : 3 или чрезъ 0,001468.

b) Расширеніе поверхностей и тѣлъ. Пусть ребро куба=1. Если температура куба увеличивается на 1^0, то длина ребра измѣнится въ $1+a$; вмѣстѣ съ тѣмъ

площадь одной стороны будетъ . . . $(1+a)^2=1+2a+a^2$
объемъ куба. . . . . $(1+a)^3=1+3a+3a^2+a^3$

Такъ какъ линейное расширеніе a очень малая величина, то членами a^2, $3a^2$ и a^3 можно пренебречь. Поэтому площадь 1 увеличивается на $2a$, объемъ 1 на $3a$. Слѣдовательно расширеніе поверхностей въ 2 раза, а расширеніе объема въ 3 раза больше линейнаго расширенія.

Отъ поперемѣннаго нагрѣванія и охлажденія происходитъ остающееся удлинненіе. Принсепъ замѣтилъ, что чугунная реторта послѣ троекратнаго поперемѣннаго нагрѣванія и охлажденія получила остающееся удлинненіе=0,0376.

Опыты Брикса надъ колосниками дали слѣдующіе результаты: Колосникъ длиною 1,1 метра послѣ 3 дневной топки удлиннился на 0,0049 м.; послѣ 17 дневной на 0,0114 м. и послѣ 30 дневной на 0,0212 м., т. е. расширился почти на 2 процента. При дальнѣйшемъ употребленіи происходитъ еще дальнѣйшее расширеніе.

При нѣкоторыхъ постройкахъ должно принимать во вниманіе расширеніе. Хотя при небольшихъ измѣненіяхъ температуры, какъ напримѣръ въ атмосферѣ (самое большее 45°Ц) расширеніе очень мало, но все-таки оно можетъ имѣть значительныя и часто весьма вредныя послѣдствія; поэтому при всѣхъ большихъ постройкахъ, а также тамъ, гдѣ требуется большая точность, необходимо принимать его во вниманіе. Напримѣръ чугунныя трубы отъ обыкновенныхъ измѣненій температуры легко будутъ вырываться одна изъ другой, если не будутъ снабжены нѣсколькими контенсаторами. Такая предосторожность еще необходимѣе для трубъ, проводящихъ паръ или горячій воздухъ, потому что онѣ испытываютъ значительныя измѣненія температуры; а также при установкѣ длинныхъ приводовъ нужно вводить въ нихъ муфты расширенія.

2. Расширеніе жидкихъ тѣлъ. Расширеніе жидкостей (объемное расширеніе) менѣе равномѣрно, чѣмъ расширеніе твердыхъ тѣлъ; но вообще оно тѣмъ больше, чѣмъ ниже точка кипѣнія и чѣмъ больше приближается температура къ точкѣ кипѣнія: При нагрѣваніи отъ 0 до 100°Ц. объемное расширеніе

для льнянаго масла	0,072	для солярнаго масла	0,050
„ оливковаго „	0,080	„ сѣрной кислоты	0,060
„ терпентин. „	0,070	„ воды	0,043
„ ртути	0,018	„ виннаго спирта	0,100

Вода имѣетъ наибольшую плотность при 4,1°Ц.; по Депрэ ея объемъ измѣняется слѣдующимъ образомъ:

Температура.	Объемъ.	Температура.	Объемъ.	Температура.	Объемъ.	Температура.	Объемъ.
0°Ц.	1,000108	25°Ц.	1,00293	50°Ц.	1,01205	75°Ц.	1,02562
5	1,000008	30	1,00433	55	1,01445	80	1 02885
10	1,000268	35	1,00593	60	1,01608	85	1,03225
15	1,000875	40	1.00773	65	1,01967	90	1,03566
20	1,00179	45	1,00985	70	1,02255	95	1,03925

Вода расширяется не только при температурѣ высшей 4,1°Ц., но и ниже ея. Этимъ объясняются частые разрывы водопроводныхъ трубъ или другихъ сосудовъ, въ которыхъ вода отъ сильнаго холода замерзаетъ.

Примѣчаніе. По новымъ изслѣдованіямъ Ниса и Винкельмана металлы расширяются въ моментъ затвердѣванія, такъ что твердый металлъ менѣе плотенъ, чѣмъ жидкій при одинаковой температурѣ.

3. Расширеніе воздухообразныхъ тѣлъ. Расширеніе атмосфернаго воздуха, а также всѣхъ газовъ и паровъ равномѣрно. Оно равняется для 1°Ц.

Атмосф. воздуха . . .	0,003665	Амміачнаго газа. . . .	0,003713
Кислорода	0,003685	Окиси углерода	0,003666
Водорода.	0,003661	Угольной кислоты . . .	1,003710

Примѣръ. Холодный воздухъ при 0° входитъ въ печь и нагрѣвается тамъ до 1000°. Во сколько разъ увеличится его объемъ?

Увеличеніе объема 1 при нагрѣваніи на 1° $=0,00367$
Вмѣстѣ съ тѣмъ увеличеніе при 1000° . . $0,00367\times1000=3,670$
Полный объемъ . . . . . $1+3,670=4,670$

Если, не измѣняя давленія, нагрѣть воздухъ или газъ на t градусовъ, то объемъ его возрастаетъ въ отношеніи $1 : 1+0,00367t$. Но его плотность при этомъ уменьшается въ обратномъ отношеніи. Если затѣмъ этотъ воздухъ или газъ въ этомъ нагрѣтомъ состояніи подвергается перемѣнѣ давленія, то его плотность измѣняется прямо пропорціонально, объемъ же обратно пропорціонально этому давленію. (См. законъ Гей-Люссака).

Примѣръ 1. Объемъ одного килограмма воздуха при 0° и при давленіи 0,76 м. высоты ртутнаго столба=773 литра; каковъ будетъ объемъ 1 клгр. этого воздуха при температурѣ 46°Ц. и подъ давленіемъ 1,25 м.

Объемъ 1 клгр. воздуха подъ давленіемъ 0,76 м., нагрѣваясь отъ 0° до 46°Ц., будетъ:

$$773[1+0,00367.46]=903,5 \text{ литра.}$$

Если нагрѣтый такимъ образомъ воздухъ подвергается давленію 1,25 м. высоты ртутнаго столба (вмѣсто 0,76 м.), то его объемъ уменьшается обратно пропорціонально давленію и будетъ.

$$903,5\,\frac{0,76}{1,25}=549,3 \text{ литра.}$$

Примѣръ 2. Кубическій метръ атмосф. воздуха при 0° и подъ давленіемъ 1 атмосферы вѣситъ 1,293 килогр.; сколько вѣситъ кубическій метръ этого воздуха при 66° и подъ давленіемъ 2 атмосферъ?

Если 1 куб. метръ воздуха при 1 атмосферѣ давленія нагрѣвается отъ 0° до 66°Ц., то онъ расширяется въ отношеніи

$$1 : 1+0,00367 \text{ или } 1 : 1,24222.$$

Плотность, слѣдов. и вѣсъ 1 куб. метра, уменьшается въ обратномъ отношеніи и потому его вѣсъ

$$1,293\,.\,\frac{1}{1,24222}=1,041 \text{ клгр.}$$

Подвергая этотъ воздухъ давленію 2 атмосферъ (вмѣсто 1), удвоимъ его вѣсъ и потому вѣсъ 1 куб. метра $=2\times1,041=2,082$ килогр.

Примѣръ 3. Кубическій метръ воздуха имѣетъ давленіе 1 атм. при температурѣ 0°. Онъ сжимается до 0,6 куб. м. и нагрѣвается такъ, что давленіе его возрастаетъ до 3 атм. При какой температурѣ t это произойдетъ?

Объемъ воздуха при 1 атм. давленія и t градусахъ температуры $=1+0,00367t$; а при 3 атмосферахъ въ 3 раза меньше. Этотъ объемъ долженъ=0,6 куб. м. Слѣд.

$$\frac{1+0,00367t}{3}=0,6; \text{ и } t=218°.$$

157. **Измѣреніе температуры.** 1. Термометры. Посредствомъ оныхъ измѣряются низкія температуры до тѣхъ предѣловъ, пока жидкость въ термометрѣ начинаетъ замерзать или испаряться. Она поднимается въ раздѣленной стеклянной трубкѣ пропорціонально увеличенію теплоты; высота, которой она достигаетъ въ трубкѣ, обозначаетъ градусъ температуры.

Термометры, употребляемые въ практикѣ, раздѣляются по именамъ ихъ изобрѣтателей: Реомюра, Цельсія и Фаренгейта; въ первомъ разстояніе отъ точки замерзанія до точки кипѣнія воды дѣлится на 80, во второмъ на 100, въ третьемъ на 180 градусовъ, такъ что

		Точка замерзанія.	Точка кипѣнія.
Реомюръ	Р.	0^0	80^0
Цельсій	Ц.	0^0	100^0
Фаренгейтъ	Ф.	32^0	212^0

Взаимный переводъ этихъ градусовъ дѣлается по формуламъ.

n градусовъ Цельсія$=\frac{4}{5}$ n градусовъ Р.$=32+\frac{9}{5}$ градусовъ Ф.; n градусовъ Реомюра$=\frac{5}{4}$ n градусовъ Ц.$=32+\frac{9}{4}$ градусовъ Ф; n градусовъ Фаренгейта (Ф)$=\frac{5}{9}$ ($n-32$) градусовъ Ц.$=\frac{4}{9}$ ($n-32$) градусовъ Р; 0^0Ц$=0^0$Р$=+32^0$Ф; 100^0Ц$=80^0$Р$=212^0$Ф.

Градусы теплоты выше нуля обозначаются знакомъ + (плюсъ); а ниже нуля знакомъ — (минусъ).

Примѣръ 1. Сколько градусовъ по Реомюру и Цельсію составляютъ 194 градуса Фаренгейта?

$\frac{4}{9}$ (194—32)$=-72^0$ Реомюра.
$\frac{5}{9}$ (194—32)$=-90^0$ Цельсія.

Примѣръ 2. Сколько градусовъ по Р. и по Ц. составляютъ 5^0Ф?

$\frac{4}{9}$ (5—32)$=-12^0$Р.
$\frac{5}{9}$ (5—32)$=-15^0$Ц.

Примѣръ 3. Сколько градусовъ по Ф. и по Ц. составляютъ 80 градусовъ Реомюра?

$\frac{9}{4}$.80+32$=212^0$ Фаренгейта.
$\frac{5}{4}$.80$=100^0$ Цельсія.

Примѣръ 4. Сколькимъ градусамъ Ф. и Р. равняется 70 градусовъ Цельсія?

$\frac{9}{5}$.70+32$=158^0$ Фаренгейта.
$\frac{4}{5}$.70$=56^0$ Реомюра.

2. Термометрическія вещества. Такъ какъ ртуть замерзаетъ при—39°Ц. и обращается въ паръ при+350°Ц., то она можетъ служить термометрическою жидкостію только между этими двумя температурами. Алькоголь замерзаетъ при—100°, а отъ+10° вверхъ расширяется неравномѣрно; поэтому эта жидкость употребляется для измѣренія низкихъ температуръ. Вполнѣ равномѣрно расширяются газы; поэтому воздушный термометръ слѣдуетъ считать самымъ лучшимъ. Если точки 0 и 100 въ ртутномъ и воздушномъ термометрахъ поставить одинаково, то оба инструмента указываютъ слѣдующія температуры:

Воздушный термометръ.	0	50	100	150	200	250
Ртутный термометръ.	0	49,6	100	151	202,8	255,2

3. Пирометры. Они служатъ для измѣренія болѣе высокихъ температуръ. Пирометръ Веджевуда основанъ на свойствѣ глины сжиматься въ жару; пирометръ Даніэля на неодинаковомъ расширеніи платины и графита; пирометръ Петерсена на неодинаковомъ расширеніи платины и желѣза.

4. Цвѣтъ накаленнаго желѣза. По Пулье по цвѣту раскаленнаго желѣза можно судить о высотѣ температуры по слѣдующей таблицѣ:

Температура каленія желѣза.

Слабо красный (въ темнотѣ) .	525°Ц.	Темно-оранжевый	1100°Ц.
Темно красный	700	Свѣтло-оранжевый	1200
Темно-вишневый	800	Бѣлое каленіе	1300
Вишнево-красный	900	Сварочный жаръ	1400
Свѣтло-вишневый	1000	Ослѣпительно бѣлый. . . .	1500

5. Побѣжалые цвѣта стали. Нижеслѣдующіе сплавы металловъ, будучи расплавлены, сообщаютъ положенной въ нихъ стали нижеслѣдующіе побѣжалые цвѣта:

Пропорція металловъ.	Температура.	Цвѣтъ.
2 части свинца, 1 часть олова .	225°	Соломенно-желтый.
9 „ „ 4 „ „	237	Темно-желтый.
3 „ „ 1 „ „	250	Пурпурно-красный.
9 „ „ 2 „ „	262	Фіолетовый.
Свинецъ безъ примѣси	330	Темно-синій.

На желѣзѣ побѣжалые цвѣта появляются позднѣе (т. е. при болѣе высокой температурѣ) чѣмъ на стали; на сѣромъ чугунѣ позднѣе, чѣмъ на желѣзѣ.

6. Температура плавленія различныхъ тѣлъ.

Названіе тѣлъ.	Градусы Ц.	Названіе тѣлъ.	Градусы Ц.
Алюминій	1000	Ртуть	—39,5
Антимоній или сюрьма . .	432	Сало	33
Бронза	900	Свиной жиръ	27
Висмутъ	260	Свинецъ	330
Воскъ . . . . 62 до . .	64	Серебро	1000
Желѣзо . . 1500 до . .	1600	Сталь . . . 1300 до	1400
Золото . . . 1000 до . .	1250	Стекло . . . 1000 до	1400
Латунь	900	Сѣра	109
Магній	500	Фосфоръ	43
Мѣдь	1100	Цинкъ	433
Никкель	1600	Чугунъ бѣлый 1050 до	1100
Олово	230	„ сѣрый 1100 до	1200
Параффинъ	46	Шеллакъ	93
Платина	2500		

7. Температура плавленія различныхъ легкоплавкихъ сплавовъ.

Градусы Ц.	Вѣсовыя части.			
	Олово.	Свинецъ.	Висмутъ.	Кадмій.
63	4	8	15	3
77	3	5	8	—
99	1	1	1	—
116	2	2	1	—
124	3	3	1	—
128	4	4	1	—

Олово	0	1	1½	2	3	4	5	6	1	1	1	1	1	1	1
и свинецъ.	1	1	1	1	1	1	1	1	1½	2	3	4	5	6	0
Темп. плавленія.															
Градусы Ц.	330	189	169	171	180	186	191	194	211	227	250	259	267	270	230

8. Температура замерзанія и кипѣнія различныхъ тѣлъ въ градус. Цельсія при наружномъ атмосферномъ давленіи=760 мм. ртути.

Названіе тѣлъ.	Т. замерз.	Т. кип.	Названіе тѣлъ.	Т. замерз.	Т. кип.
Эфиръ	—	35	Ртуть	—39 5	357
Алькоголь . . .	—100	78,4	Сѣра	+299	440
Креозотъ. . . .	—	203	Сѣрная кислота.	—	325
Углекислота . .	—80	—	Морская вода .	—2,5	103
Льняное масло .	—20	316	Терпентин. масло	—	156
Фосфоръ	—	290	Чистая вода . .	0	100

158. **Измѣреніе теплоты.** 1. Единица мѣры. Количество теплоты, которое необходимо для повышенія температуры 1 килограмма какого нибудь тѣла на 1°Ц., называется его удѣльною теплотою или теплоемкостью. Удѣльная теплота воды принимается за единицу и потому единицею теплоты или калоріею называется то количество теплоты, которое необходимо для повышенія температуры 1 клгр. воды отъ 0° на 1°Ц.

2. Удѣльная теплота воды. Она не постоянна. Пусть t температура воды въ градусахъ Цельсія; q количество теплоты, содержащееся въ 1 клгр. ея при t градусахъ; c удѣльная теплота воды, т. е. та теплота, которая нужна для нагрѣванія 1 клгр. воды отъ t на одинъ градусъ и c' средняя удѣльная теплота, слѣдовательно $c't=q$, то по Реньо.

$$q=t+0{,}00002t^2+0{,}0000003t^3$$
$$c=1+0{,}00004t+0{,}0000009t^2$$

Температура . . . . . $t=$	0	20	60	100	150	200°Ц.
Удѣльная теплота. . . . $c=$	1	1,0012	1,0056	1,0130	1,0262	1,0440.

Отсюда имѣемъ:

t	q	c	c'	t	q	c	c'
0	0,00	1,0000	—	110	110,641	1,0153	1,0058
10	10,002	1,0005	1,0002	120	120,806	1,0177	1,0067
20	20,010	1,0012	1,0005	130	130,997	1,0204	1,0076
30	30,026	1,0020	1,0009	140	141,215	1,0232	1,0087
40	40,051	1,0030	1,0013	150	151,462	1,0262	1,0097
50	50,087	1,0042	1,0017	160	161,741	1,0294	1,0109
60	60,137	1,0056	1,0023	170	172,052	1,0328	1,0121
70	70,210	1,0072	1,0030	180	182,398	1,0364	1,0123
80	80,282	1,0089	1,0035	190	192,779	1,0401	1,0146
90	90,381	1,0109	1,0042	200	203,200	1,0440	1,0160
100	100,500	1,0130	1,0050	220	224,162	1,0524	1,0189

На основаніи этого, 1 клгр. воды при 100 градусахъ содержитъ 100,5 калоріи теплоты; его средняя удѣльная теплота = 1,005. Поэтому если помножимъ 1,005 на

температуру 100, то получимъ содержаніе теплоты = 100,5 калоріи. Если же напротивъ 1 клгр. воды нагрѣвается отъ 100^0 до 101^0, то для этого онъ требуетъ 1,013 калоріи теплоты.

Такъ какъ измѣняемость c незначительна, то въ обыкновенныхъ случаяхъ можно принимать удѣльную теплоту воды постоянно=1.

Примѣръ 1. 100 калорій могли бы повысить температуру 1 кило воды отъ 0^0 до 100^0Ц., или нагрѣть 100 кило на 1^0Ц., или 50 кило на 2^0 и т. д. Во всѣхъ этихъ случаяхъ эти 100 калорій теплоты заключаются въ водѣ и они будутъ въ точности и вполнѣ освобождены при охлажденіи воды до 0^0.

Поэтому 5 клг. воды при 10^0Ц. содержатъ въ себѣ 5.10=50 калорій, 7 кил. при 20^0Ц. содержатъ 7.20 или 140 калорій.

Примѣръ 2. Если смѣшать 4 кил. воды при 10^0Ц. съ 3 кил. воды при 60^0Ц., то смѣсь содержитъ 4.10+3.60=220 единицъ теплоты. Онѣ распредѣлены по всѣмъ 7 кило воды равномѣрно, слѣдовательно каждый кило содержитъ

$$\frac{4.10+3.60}{4+3}=\frac{220}{7}=31\frac{3}{7}$$ единицы теплоты.

Температура смѣси поэтому равняется $31^3/_7{}^0$Ц.

3. Удѣльная теплота твердыхъ и капельножидкихъ тѣлъ (вода=1).

Алькоголь	0,7000	Чугунъ, между 0^0 и 200^0 .	0,13	Сѣрная кислота. . .	0,3350
Свинецъ. . . .	0,0314	Чугунъ между 0^0 и 1200^0 .	0,16	Серебро.	0,0570
Стекло хрупкое. .	0,1923	Желѣзо кованое. . .	0,1138	Сталь мягкая. . . .	0,1165
„ отпущеное.	0,1937	Сѣра расплавленная.	0,1026	„ закаленная . .	0,1175
Чугунъ	0,1298	„ твердая. . . .	0,1764	Кирпичъ 0,2410 .	0,1890
Уголь древесный	0,2411			„ огнеупорный.	0,2083
Мѣдь	0,0951			Цинкъ	0,0956
Латунь	0,0939			Олово	0,0562
Ртуть	0,0333				

Примѣръ 1. Сколько калорій потребуютъ 15 кил. желѣза, температура котораго должна быть повышена отъ 20^0Ц. до 200^0Ц.?

Возвышеніе температуры . . . . . $200-20=180^0$Ц.
Для этого 15 кил. воды требуютъ. . . $15.180=2700$ калорій
Но средняя удѣльная теплота желѣза. . . . . $=0,1138$
Поэтому 15 кил. желѣза потребуютъ . . $2700.0,1138=307,36$ „

Примѣръ 2. Какова будетъ температура смѣси изъ 1 кил. воды при 100^0Ц. съ 5 кил. алькоголя при 32^0Ц.

1 кил. воды при 100^0Ц. содержитъ. . . . . 100 калорій
5 кил. алькоголя при 32^0Ц. „ . . . . $5.32\ 0,7=112$ „
а вмѣстѣ 6 кил. смѣси „ . . . . . $=212$ „
Поэтому температура смѣси . . . . . $212:6=35^1/_3{}^0$Ц.

Подобно водѣ, удѣльная теплота другихъ тѣлъ также увеличивается съ температурою. Такъ напримѣръ по Бистрому:

Температура.	0^0	100^0	200^0	300 Ц.
Чугунъ	0,1277	0,1295	0,1339	0,1407
Желѣзо.	0,1116	0,1138	0,1188	0,1267
Литая сталь.	0,1178	0,1198	0,1246	0,1321

По Дюлонгу и Пти средняя удѣльная теплота между предѣлами

	$0—100^0$	$0—300^0$		$0—100^0$	$0—300^0$
для сюрьмы . .	0,0507	0,0547	для мѣди . . .	0,0940	0,1013
„ желѣза. . .	0,1098	0,2118	„ цинка. . .	0,0927	0,1015

4. Удѣльная теплота газовъ. Если воздухъ расширяется (напр. подъ колоколомъ воздушнаго насоса), то его температура и упругость уменьшаются. Чтобы привести эту упругость опять къ первоначальной ея величинѣ, нужно воздухъ нагрѣть. Но если масса воздуха нагрѣвается на 1°Ц., и если она могла бы расширяться такъ, что его упругость остается безъ измѣненія; тогда необходимая для этого теплота состоитъ изъ 2 частей: изъ части, которая при постоянномъ объемѣ возвышаетъ температуру и изъ части, которая при этой температурѣ увеличиваетъ объемъ. Если первая часть=1, то вторая по Реньо=0,41, т. е. удѣльная теплота воздуха при постоянномъ давленіи въ отношеніи 1,41 къ 1 болѣе удѣльной теплоты при постоянномъ объемѣ.

Удѣльная теплота газовъ и паровъ:

Тѣла.	Вода=1.		Воздухъ =1
	При постоянномъ объемѣ	При постоян. давленіи.	при постоянномъ давлен.
Паръ эфира	0,3411	0,4810	2,0235
Паръ алькоголя	0,3200	0,4513	1,8986
Атмосферный воздухъ	0,1686	0,2375	1,0000
Окись углерода	0,1758	0,2479	1,0793
Углекислота	0,1535	0,2164	0,9104
Кислородъ	0,1548	0,2175	0,9180
Азотъ	0,1730	0,2438	1,0265
Рудничный газъ	—	0,5930	—
Водородъ	2,4123	3,4090	14,3231
Водяной паръ	0,3337	0,4750	1,9794

Если атмосферный воздухъ входитъ черезъ рѣшетку въ топочное пространство, то давленіе воздуха почти не измѣняется; поэтому при вычисленіи теплоты, какую беретъ воздухъ въ топкѣ, должно взять число 0,2373.

5. Опредѣленіе температуры помощію содержанія теплоты. Кусокъ мѣди вносится въ пространство, температуру котораго желаютъ опредѣлить. Когда можно предположить, что мѣдь нагрѣлась до температуры этого пространства, тогда бросаютъ ее въ воду; температура обоихъ тѣлъ дѣлается одинаковою. Пусть

P, T, c вѣсъ, температура и удѣльная теплота мѣди
p, t вѣсъ и температура воды передъ опытомъ

t_1 найденная средняя температура послѣ внесенія мѣди въ воду; теплота обоихъ тѣлъ предъ погруженіемъ $=cPT+pt$; теплота послѣ погруженія $=(cP+p)t_1$; слѣдов.

$$t_1=\frac{cPT+pt}{cP+p}.$$

159. **Измѣненіе состоянія тѣлъ.** 1. Скрытая теплота. Если нагрѣвать твердое тѣло, то его температура будетъ увеличиваться до тѣхъ поръ, пока оно начнетъ плавиться. Тогда она остается постоянною до тѣхъ поръ, пока тѣло вполнѣ расплавится, потому что вся теплота, которую оно принимаетъ во время плавленія, употребляется на уничтоженіе состоянія равновѣсія его частицъ.

Такъ 1 кил. льда или снѣга при 0° требуетъ 79 калорій теплоты, чтобы превратиться въ воду той же температуры (т. е. 0°). Эти 79 калорій называются скрытою или соединенною теплотою, потому что онѣ не способствуютъ возвышенію температуры. Если 1 кил. воды при 0° превратится въ ледъ при 0°, то 79 соединенныхъ калорій снова сдѣлаются свободными или явными.

Совершенно также жидкость при переходѣ въ газъ или паръ требуетъ извѣстное количество теплоты; напримѣръ вода при 100 градусахъ требуетъ 537 калорій. Скрытая теплота нижеслѣдующихъ веществъ равняется:

При плавленіи.		При кипѣніи.	
Ледъ	79,0 калорій.	Вода при 100° . . .	537 калорій.
Свинецъ.	5 3 „	Алькоголь (уд. в. 0,825)	245 „
Олово	14,2 „	Сѣрный эфиръ . . .	168 „
Серебро.	21,7 „	Терпентинное масло .	74 „

Примѣръ. 1 клгр. льда при 0° погружается въ 10 клгр. воды при 20°. Какую температуру вода будетъ имѣть послѣ расплавленія льда?

Искомая температура пусть t; то тогда ледъ возьметъ $79+t$ калорій. Но 10 клгр. воды охлаждаются до $20-t$ градусовъ, слѣдовательно они отдаютъ $10\,(20-t)$ калорій. Приравнивая эти величины, получимъ:

$79+t=10\,(20-t)$; $t=11°$. Поэтому вода охлаждается на 9°.

2. Температура плавленія сплавовъ *).

Сплавъ состоитъ изъ частей.			Температура плавленія.			При давленіи атмосферъ.
Висмута.	Свинца.	Олова.	Цельсія.	Реомюра.	Фарангейта.	
8	5	3	100	80	212	1
8	8	4	113,3	90,6	235,9	1½
8	8	8	123,3	98,6	253,9	2
8	10	8	130	104	266	2½
8	12	8	132,4	105,9	270,3	3
8	16	14	142,2	113,8	288,1	3½
8	16	12	145,4	116,3	293,7	4
8	22	24	153,8	123	308,8	5
8	32	36	160,2	128,1	320,3	6
8	32	28	166,5	133,2	331,7	7
8	30	24	172	137,6	341,6	8

3. Охлаждающія смѣси.

Вещества въ частяхъ по вѣсу.	Температура понижается.	
	отъ	до
1 воды, 1 азотнокислаго амміака	+10°C	—15,5°C
10 разведен. сол. кислоты, 16 глаубер. соли	+10	—17,8
1 разбавл. сол. кислоты, 1½ глаубер. соли	+10	—16
1 снѣга, 4 купороснаго масла, 1 воды	0	—32,5
1 снѣга, 1 разбавленной сѣрной кислоты	— 7	—51
1 снѣга ½ разбавленной азотной кислоты	—23	—49
1 снѣга или толчен. льда, 1 поварен. соли	0	—17,3
1 снѣга; 1,3 хлористаго кальція	0	—49
1 снѣга: 0 625 соляной кислоты.	0	—33
1 снѣга; 0,400 повар. соли; 0 2 нашатыря	0	—24
1 снѣга; 0,416 повар. соли; 9,416 азотнокисл. амміака	0	—31

*) На оборотѣ.

4. Температура плавленія, замерзанія и кипѣнія различныхъ тѣлъ указана выше.

5. Линейная усадка нѣкоторыхъ металловъ. Сжатіе по одному измѣренію при затвердѣваніи послѣ отливки составляетъ отъ длины въ холодномъ состояніи:

Свинецъ	$^1/_{92}$	Желѣзо прокатное	$^1/_{54}$ до $^1/_{55}$
Бронза	$^1/_{83}$	Полусталь, полужелѣзо	$^1/_{84}$
Мелкозернистое желѣзо	$^1/_{72}$	Висмутъ	$^1/_{265}$
Колокольн. метал. (100 *Cu*, 18 *Sn*)	$^1/_{65}$	Цинкъ литой	$^1/_{62}$
Чугунъ	$^1/_{96}$	Олово	$^1/_{128}$
Латунь	$^1/_{65}$	Пушечн. метал. (100 *Cu*, 12,5 ч. *Sn*)	$^1/_{134}$
Пудлинговая сталь	$^1/_{72}$		

Такъ какъ линейное сжатіе чугуна простирается почти до $^1/_{100}$, то для приготовленія моделей при отливкѣ чугунныхъ вещей употребляются особыя мѣры, которыя больше обыкновенныхъ на $^1/_{100}$. (т. е. модельный или усадочный аршинъ).

Въ прокатныхъ заводахъ считаютъ 12 мм. усадки на 1 метръ.

160. **Термодинамика или механическая теорія теплоты. Эквивалентность теплоты и работы.** 1) Первой основной законъ термодинамики. Теплота можетъ быть превращена въ работу, а работа въ теплоту. Абсолютная работа, получаемая чрезъ израсходованіе калоріи называется механическимъ эквивалентомъ теплоты. Этотъ эквивалентъ по опытамъ Джауля=424. Эта величина называется также числомъ Джауля. Слѣдовательно 1 калорія теплоты превращаясь въ механическую работу, можетъ поднять вѣсъ 424 клгр. на высоту 1 м. или обратно: механическая работа, которую нужно израсходовать для поднятія вѣса 424 клгр. на 1 метръ высоты, можетъ дать одну калорію теплоты. Чтобы получить Q единицъ теплоты, необходима работа: $L=424Q$ откуда $Q=AL$, гдѣ $A=\frac{1}{424}$ есть тепловой эквивалентъ единицы работы.

2. Законъ Майэра. Если тѣло принимаетъ теплоту, то эта теплота употребляется для возвышенія температуры и для расширенія объема. При расширеніи преодолѣваются силы, связывающія малѣйшія частицы тѣла; а также внѣшнее давленіе, которое дѣйствуетъ на поверхности тѣла. Поэтому теплота производитъ при расширеніи внутреннюю и внѣшнюю работы.

Пусть Q количество теплоты, которое происходитъ въ 1 клгр. тѣла; при этомъ температура возвышается на t градусовъ и на внутреннюю работу употребляется J, на внѣшнюю работу A килогр. метр. работы; слѣдовательно должно быть.

---

*) Эти легкоплавкіе сплавы употребляли прежде въ паровыхъ котлахъ для предохраненія отъ взрыва. Такъ какъ увеличиваніе упругости пара соотвѣтствуетъ всегда возвышенію его температуры, то при большой упругости паръ могъ расплавить металлическій сплавъ, закрывающій отверстіе паровика и такимъ образомъ открыть себѣ выходъ. Поэтому каждому давленію пара соотвѣтствуетъ особенный металлическій сплавъ, нумерованный числомъ атмосферъ, для котораго котелъ назначенъ, какъ показываетъ послѣдній столбецъ таблицы.

$$Q = ct + \frac{J}{424} + \frac{A}{424} \quad \ldots\ldots (1)$$

Здѣсь c представляетъ истинную удѣльную теплоту тѣла, т. е. ту теплоту, которая только возвышаетъ температуру.

Первая часть ct справедливо называется чувствуемою или явною теплотою; вторая и третья часть вмѣстѣ называются скрытою или соединенною теплотою, а при томъ вторая часть называется внутреннею, третья же внѣшнею скрытою теплотою.

Примѣръ 1. Если воздухъ нагрѣвается на 1^0 и если онъ не можетъ расширяться, то $A=0$. Но такъ какъ и внутренняя работа чрезвычайно мала, слѣдовательно $J=0$, то $Q=ct$. Вмѣстѣ съ тѣмъ c обозначаетъ удѣльную теплоту при постоянномъ объемѣ. Слѣдовательно $c=0{,}1686$.

Если воздухъ можетъ расширяться при нагрѣваніи, но такъ, чтобы внѣшнее давленіе оставалось постояннымъ, то будетъ $J=0$; тогда Q обозначаетъ удѣльную теплоту при постоянномъ давленіи; слѣдовательно $Q=0{,}2377$.

Примѣръ 2. Если ледъ плавится въ свободномъ воздухѣ, то во время плавленія $t=0$ и $A=0$; поэтому предъидущее уравненіе обращается въ $J=424Q$. А такъ какъ $Q=79$ калоріямъ на 1 клгр. льда, то на расплавленіе 1 клгр. льда употребляется работа $424.79=33495$ клгр. метр.

3. Опредѣленіе числа Джауля. Вообразимъ 1 куб. м. воздуха при 1 атмосферѣ давленія, заключенный въ цилиндрѣ съ площадью поршня 1 кв. м. и высотою 1 м. Если этотъ воздухъ нагрѣется на 1^0 безъ увеличенія давленія, то поршень долженъ проходить путь $=0{,}00367$ м. (коэффиціентъ расширеніе воздуха). Поэтому часть теплоты, употребленной на нагрѣванія воздуха, доставляетъ работу $=10330.0{,}00367$ клгрмтр; работа на 1 клгр. воздуха будетъ

$$\frac{10330.0{,}00367}{1{,}293} = 29{,}32 \text{ клгрмтр.}$$

Примѣнимъ теперь къ этому процессу формулу (1) Роберта Майэра, обозначая неизвѣстный эквивалентъ буквою x; тогда при

$$t=1^0,\ c=0{,}1686;\ Q=0{,}2377;\ J=0;\ A=29{,}32$$

получимъ

$$0{,}2377 = 0{,}1686 + \frac{29{,}32}{x};\ \text{откуда } x=424.$$

4. **Абсолютная температура.** Она составляетъ теоретическое слѣдствіе закона Гей-Люссака-Маріотта. Теплота составляетъ результатъ особаго колебательнаго движенія частицъ тѣла, такъ что чѣмъ сильнѣе или слабѣе это движеніе, тѣмъ болѣе или менѣе нагрѣто тѣло. Если этихъ колебаній нѣтъ, то не имѣется и теплоты. Соотвѣтствующая этому точка на шкалѣ термометра называется абсолютнымъ нулемъ температуры; а градусы температуры, считаемые отъ этого нуля, называются абсолютною температурою и обозначаются буквою T.

Пусть газообразное тѣло при 0^0 имѣетъ объемъ $=1$ и пусть его температура понижается на t градусовъ; при охлажденіи на 1^0 онъ долженъ уменьшаться на $0{,}00367 = {}^1/_{273}$ часть; тогда его объемъ при $-t^0$ будетъ $1-0{,}00367t$. Пусть охлажденіе продолжается столь далеко, что объемъ сдѣлается неизмѣримо малъ. Въ этомъ случаѣ

$$1-0{,}00367t=0;\ \text{слѣдовательно}\ t=\frac{1}{0{,}00367}=273_0=a$$

т. е. газъ должно было бы охладить, на 273°Ц. ниже обыкновеннаго нуля (точки таянія льда), чтобы при постоянномъ давленіи получить сжатіе до нулеваго объема.

Далѣе охлажденіе не можетъ происходить. Поэтому абсолютный нуль *) находится на 273° ниже обыкновеннаго нуля термометра, такъ что $T=273+t$.

5. **Второй основной законъ термодинамики или законъ Карно.** 1) Тѣло подъ вліяніемъ теплоты можетъ измѣнять свое состояніе различнымъ образомъ. Круговымъ процессомъ называется такой процессъ измѣненія состоянія тѣла, при концѣ котораго оно возвращается въ свое первоначальное состояніе. Графически этотъ процессъ можетъ быть представленъ сомкнутой линіей, называемой цикломъ. Особенно замѣчателенъ циклъ Карно, который состоитъ изъ двухъ изотермъ и изъ двухъ адіабатъ.

Если въ уравненіи Майэра t остается постоянною, то называютъ измѣненіе состоянія изотермическимъ; если же во время измѣненія состоянія теплота не доставляется къ тѣлу и не отнимается отъ него, то называется измѣненіе адіабатическимъ (стр. 440). При этомъ $Q=O$.

Къ термическимъ машинамъ принадлежатъ машины работающія нагрѣтымъ воздухомъ, газовыя машины, паровыя машины и т. д. Во всѣхъ этихъ машинахъ нужно какое нибудь тѣло для перенесенія теплоты, которая развиваетъ работу въ цилиндрѣ машины. При каждомъ оборотѣ это тѣло переходитъ изъ одного состоянія въ другое.

Во время передняго хода поршня это тѣло работаетъ первоначально изотермически (чрезъ подведеніе теплоты Q) при абсолютной температурѣ T, расширяясь отъ объема v до v_1, а затѣмъ адіабатически, отъ v_1 до v_2, при чемъ температура уменьшается до T_1. Послѣ этого начинается обратный ходъ поршня, не дозволяя данному тѣлу выходить изъ цилиндра. При этомъ въ тѣлѣ происходитъ сначала изотермическое измѣненіе отъ v_2 до v_3 при температурѣ T_1, вслѣдствіе отниманія теплоты Q_1, а затѣмъ адіабатное, вслѣдствіе сжатія отъ v_3 до v; періоды обоихъ измѣненій пусть будутъ выбраны такъ, что тѣло снова совершенно возвращается въ первоначальное состояніе съ температурою T, дабы снова совершить круговой процессъ совершенно подобнымъ же образомъ. Тогда то количество теплоты $Q-Q_1=\triangle Q$, которое въ цилиндрѣ превращается въ работу, относится съ полному расходу теплоты Q, какъ пониженіе температуры $T-T_1=\triangle T$, происшедшее въ цилиндрѣ, относится къ начальной температурѣ, такъ что

*) Въ дѣйствительности нельзя ни достичь этого предѣла температуры, ни сжать газъ до нулеваго объема; но это предположеніе полезно для вычисленій, ибо тогда законы всѣхъ явленій, зависящихъ отъ температуры, изображаются гораздо проще и нагляднѣе, чѣмъ при употребленіи обыкновеннаго нуля температуръ; слѣдовательно абсолютныя температуры вводятся только въ научныхъ изслѣдованіяхъ, при наблюденіяхъ же всегда считаютъ температуры отъ обыкновеннаго нуля.

$$(2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \frac{Q-Q_1}{Q}=\frac{T-T_1}{T} \text{ или } \frac{\triangle Q}{Q}=\frac{\triangle T}{T}.$$

Можно также написать

$$\frac{AL}{Q}=\frac{T-T_1}{T} \text{ или } AL=\frac{Q}{T}(T-T_1)$$

Произведенный такимъ способомъ круговой процессъ называется совершеннымъ, потому что посредствомъ онаго получается большая полезная работа, чѣмъ при всякомъ другомъ. Поэтому отношеніе

$$(3) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \frac{T-T_1}{T}=1-\frac{T_1}{T}.$$

есть полезное дѣйствіе машины. Оно будетъ велико, если велика T и мала T_1. Теперь можно вообразить себѣ замкнутый круговой процессъ, при которомъ измѣненія тѣла будутъ ни изотермическія, ни адіабатическія; но при этомъ всегда имѣется болѣе высокая температура T и менѣе высокая T_1. Всякое частное измѣненіе, которому не соотвѣтствуетъ столь же далеко лежащія предѣльныя температуры, даетъ по (3) меньшее полезное дѣйствіе. Слѣдовательно при данномъ расходѣ теплоты надо стараться сохранить сколь возможно верхнюю предѣльную температуру T, а также нижнюю T_1. Но тогда переходъ отъ одной предѣльной температуры къ другой можетъ быть только адіабатическій.

Примѣръ. Если въ калорической машинѣ температура въ цилиндрѣ при началѣ и концѣ хода 180^0 и 50^0 по Цельсію, то

$$T_1=273+180=453; \quad T_1-T_2=180-50=130.$$

$$\frac{T_1-T_2}{T_1}=\frac{130}{453}=0{,}287$$

т. е. при совершенномъ круговомъ процессѣ, не принимая въ соображеніе вредныя сопротивленія, превращается въ работу 28,7 процента израсходованной теплоты.

161. Передача теплоты черезъ стѣнку. Если эта стѣнка раздѣляетъ двѣ жидкости неодинаковой температуры, то жидкость съ болѣе высокой температурою будетъ отдавать теплоту жидкости съ низшею температурою. Могутъ быть слѣдующія случаи: Обѣ жидкости находятся въ покоѣ или одна движется вдоль стѣнки или обѣ движутся вдоль оной. Въ послѣднемъ случаѣ жидкости движутся по одинаковому или противоположному направленію (параллельное и обратное теченіе).

1) Законъ теплопрохожденія. Обозначимъ: F площадь стѣнки, которая проводитъ теплоту; e толщина стѣнки; T температура жидкости, которая отдаетъ теплоту; t температура другой жидкости, принимающей теплоту; Q количество теплоты, которое проходитъ въ часъ черезъ площадь F. Тогда количество проходящей теплоты пропорціонально величинѣ проводящей площади и, при не слишкомъ толстой стѣнкѣ, пропорціонально разности температуръ $T-t$; поэтому въ практикѣ принимаютъ:

$$q=k(T_0-T)F. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

При $T_0 - T = 1°$ и при $F = 1$ будетъ $q = k$. Поэтому k есть количество теплоты (число калорій), проходящей въ одинъ часъ черезъ одинъ квадр. метръ тонкой стѣнки при разности температуръ (обѣихъ жидкостей) по обѣ стороны стѣнки въ 1°. Величина k существенно зависитъ отъ способности стѣнки принимать и отдавать теплоту, напротивъ мало отъ проводимости внутри стѣнки. Поэтому при тонкихъ стѣнкахъ, напр. оконное стекло, желѣзный листъ и пр. толщина не имѣетъ существеннаго вліянія на коэффиціентъ теплопрохожденія k.

Если толщина стѣнъ значительна, напр. наружныя стѣны строеній, то можно величинѣ k дать форму

$$k = \frac{a}{b + c.e} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

гдѣ a, b, c, обозначаютъ постоянныя величины.

Если въ различныхъ мѣстахъ стѣны температура одной или другой жидкости имѣетъ различныя величины, то T_0 и T въ формулѣ (1) обозначаютъ среднія значенія этихъ температуръ.

2. Величина коэффиціента теплопрохожденія k:

Переходъ теплоты	Матеріалъ стѣнки.	Калоріи.
a) Изъ пара въ воду (паровые змѣевики въ красильныхъ кубахъ, подогрѣватели питающей воды посредствомъ мятаго пара и т. п.	Желѣзо	920
b) Изъ пара въ воздухъ (паровое отопленіе)	Желѣзо	10
„ „ „ „ „ „	Чугунъ	12
c) Изъ воды въ воздухъ (водяное отопленіе)	Желѣзо	10
„ „ „ „ „ „	Чугунъ	12
d) Изъ воздуха въ воду (паровые котлы и пр.)	Желѣзо	23
e) Изъ воздуха въ паръ (паровикъ надъ паровымъ пространствомъ)	Желѣзо	11
f) Изъ воздуха въ паръ (парокалители)	Чугунъ	13
g) Изъ воздуха въ воздухъ (калориферы)		
для нижней горизонтальной поверхности	Чугунъ	14
„ верхней горизонтальной „	„	4
„ горизонтальной цилиндрической трубы	„	6
„ вертикальной „ „	„	8
h) Изъ воздуха въ воздухъ (отопленіе зданій)	Части зданія	
для половъ комнатъ		0,4
„ потолковъ „		0,5
„ дверей		1,3
„ оконныхъ рамъ, простыхъ		3,7
„ „ „ двойныхъ		2,0
„ стѣнъ изъ обыкновеннаго кирпича		$\frac{3}{1+5\epsilon}$
„ стѣнъ изъ желѣзняка		$\frac{3}{1+4{,}5\epsilon}$
„ стѣнъ изъ песчаника		$\frac{3}{1+2{,}3\epsilon}$
„ стѣнъ изъ известняка		$\frac{3}{1+1{,}5\epsilon}$

Величины подъ (h) относятся только къ защищенному положенію зданій. Если же онѣ подставлены открытому вѣтру и непогодѣ, то коеффиціенты должно увеличить. Для стѣнъ имѣются слѣдующія числа:

Коеффиціенты теплопрохожденія для каменныхъ стѣнъ.

МАТЕРІАЛЪ СТѢНЫ.	Толщина стѣнъ въ метрахъ.				
	0,20	0,35	0,50	0,70	1,00
Кирпичъ обыкновенный	1,50	1,08	0,87	0,66	0,50
Кирпичъ желѣзнякъ	1,57	1,17	0,95	0,75	0,57
Песчаникъ	2,06	1,66	1,39	1,15	0,91
Известнякъ	2,31	1,97	1,17	1,46	1,20

Примѣръ 1. Для нагрѣванія воды паръ проводится черезъ нее помощію змѣевика. Какъ велика должна быть нагрѣвательная поверхность змѣевика, если въ 20 минутъ слѣдуетъ нагрѣть 400 литровъ воды отъ 10^0 до 80^0 и если температура пара 100^0?

Змѣевикъ долженъ отдавать въ 20 минутъ 400 (80—10) калорій, а въ часъ въ 3 раза больше. Но средняя температура воды 45^0 и коэффиціентъ теплопрохожденія 920; поэтому

$$3 \cdot 400\,(80 - 10) = 920(100 - 45)F$$

откуда величина нагрѣвательной поверхности $F = 1{,}66$ кв. м.

Примѣръ 2. Фабричная зала имѣетъ длину 30 м., ширину 10 м. и высоту 4 м. Она окружена стѣнами изъ известняка толщиною 0,5 м., которыя имѣютъ 100 кв. м. площади оконъ и 15 кв. м. площади дверей. Если температура снаружи -15^0, а въ залѣ въ рабочее время д. б. 15^0, то сколько теплоты проводятъ стѣны въ часъ при нормальныхъ условіяхъ?

На 1^0 разности температуръ получимъ слѣдующія потери теплоты вслѣдствіе охлажденія:

Полъ	30.	10.	0,4 =	120 кал.
Потолокъ	30.	10.	0,5 =	150 „
Двери		15.	1,3 =	20 „
Окна двойныя		100.	2,0 =	200 „
Стѣны	(320—100—15).		1,17 =	240 „
Сумма этихъ потерь			=	730 „
Потеря при 30^0 разности температуръ	730.	30	=	21900 „

3) Прохожденіе теплоты въ нагрѣвающихъ приборахъ съ одиночнымъ теченіемъ. При дѣйствіи парового котла вода (болѣе холодная жидкость) остается въ покоѣ, тогда какъ горячіе газы, которые отдаютъ теплоту, омываютъ нагрѣваемую площадь котла. При этомъ ихъ температура T понижается до T_1 и

$$(3) \quad \ldots\ldots F = \frac{Q}{k} \cdot \frac{2{,}303}{T - T_1} \log. \frac{T - t}{T_1 - t}$$

Примѣръ. Въ паровомъ котлѣ температура поддерживается при 150^0, тогда какъ топочные газы отъ 1200^0 охлаждаются до 210^0. Найти среднюю температуру этихъ газовъ?

Искомая средняя температура пусть будетъ x; по формулѣ (1) получимъ $Q = k(x - 150)F$. Теперь подставимъ эту величину Q въ уравненіе (3) и получимъ

$$1 = \frac{(x - 150) \cdot 2{,}303}{1050} \log \frac{1050}{60}; \; x = 516^0.$$

4) Прохожденіе теплоты въ приборахъ съ параллельнымъ и обратнымъ теченіемъ. Обѣ жидкости находятся въ движеніи. При этомъ температура болѣе горячей жидкости понижается отъ T до T_1; напротивъ температура болѣе холодной повышается отъ t до t_1,—

$$F = \frac{Q}{k} \cdot \frac{2{,}303}{(T-T_1)+(t_1-t)} log \frac{T-t}{T_1-t_1};$$

$$\text{и } F = \frac{Q}{k} \cdot \frac{2{,}303}{(T-T_1)-(t_1-t)} log \frac{T-t_1}{T_1-t}$$

см. паровые котлы стр. 823. Вторая формула служитъ для расчета площади нагрѣва подогрѣвателей (при $k=23$ и $k=920$).

162. Предварительныя свѣдѣнія о водяныхъ парахъ. 1) Объемъ, который занимаетъ 1 клгр. пара, называется его удѣльнымъ объемомъ v.

2) Вѣсъ 1 куб. м. пара называется плотностію пара или удѣльнымъ вѣсомъ пара γ.

3) Давленіе въ клгр., которое производитъ паръ на каждый кв. см. стѣнокъ заключающаго его сосуда называется удѣльнымъ давленіемъ или упругостію пара p.

4) Если упругость пара считается отъ нуля, т. е. отъ пустоты, то она называется абсолютною упругостію; если же она считается отъ единицы, т. е. отъ атмосфернаго давленія, то она называется избыточнымъ давленіемъ. Послѣднее показываетъ манометръ.

5) Атмосферное давленіе составляетъ 1,0334 клгр. на каждый кв. см. земной поверхности; слѣдовательно

1 атм.=1,0334 клгр. на кв. см.

6) Давленіе пара выражается либо въ атмосферахъ, либо въ клгр. на кв. см. Въ первомъ случаѣ:

p=1 атм.=1,0334 клгр. на кв. см.

во второмъ p=1 клгр. на кв. см.

7) Въ нижеслѣдующемъ p всегда обозначаетъ абсолютное давленіе въ клгр. на кв. см.

8) Разрѣженіе воздуха, происходящее вслѣдствіе сгущенія пара, также можно выражать либо въ атмосферахъ, либо въ клгр. на кв. см. Въ первомъ случаѣ соотвѣтствуетъ разрѣженіе или пустота въ

1 атм. = 76 см.

во второмъ 1 клгр.=73,54 см. шкалы ртутнаго барометра.

9) Въ нижеслѣдующемъ упругость, находящаяся въ почти безвоздушномъ пространствѣ холодильника, выражена въ клгр. на кв. см.

10) Объемъ 1 клгр. воды = 1 куб. дециметру при +4° называется удѣльнымъ объемомъ σ. Такъ какъ вода при нагрѣваніи отъ 0 до 100° расширяется (по Коппу) только на $^1/_{23}$ своего объема, а при увеличиваніи давленія на одну атмосферу сжимается (по Грасси) только

на 0,00005 своего объема, то удѣльный объемъ воды въ сравненіи съ образовавшимся изъ него объемомъ пара можно разсматривать какъ постоянную величину.

11) Въ то время, какъ для нагрѣванія 1 клгр. воды на 1° употребляется 1 калорія, для нагрѣванія 1 клгр. пара на 1° требуется только 0,305 калорій. Это количество теплоты называется удѣльною теплотою или теплоемкостію пара.

163. Насыщающій и перегрѣтый водяной паръ. 1) Водяные пары употребляются въ двухъ состояніяхъ температуры: въ видѣ насыщающихъ и въ видѣ перегрѣтыхъ водяныхъ паровъ.

2) Насыщающій паръ. Испареніе жидкости происходитъ на ея поверхности при всякой температурѣ; образованіе пара (кипѣніе) напротивъ, начинается внутри массы жидкости и только при температурѣ, при которой упругость образующихся частицъ пара дѣлается равною давленію выше лежащихъ слоевъ жидкости и внѣшнему давленію на ея поверхность. Въ открытомъ сосудѣ это внѣшнее давленіе есть давленіе атмосфернаго воздуха; въ закрытомъ сосудѣ это давленіе можетъ происходить отъ заключеннаго внутри его воздуха и отъ паровъ, выдѣлившихся изъ жидкости и находящихся надъ ея поверхностью. Если внѣшняго давленія нѣтъ, т. е. если жидкость находится въ пустомъ пространствѣ, то кипѣніе происходитъ безпрепятственно при всякой температурѣ.

Разсмотримъ капельную жидкость, заключенную въ цилиндрѣ, стѣнки котораго непроницаемы для теплоты; а дно позволяетъ проходить теплотѣ изъ топки. Предположимъ, что невѣсомый поршень производитъ на эту жидкость давленіе p на единицу площади большее атмосферы; жидкость будетъ нагрѣваться до температуры t, стоящей въ совершенно опредѣленной зависимости отъ давленія p—вслѣдствіе расширенія воды поршень будетъ подниматься немного. Но лишь только температура достигла этого предѣла, начинается кипѣніе и поршень будетъ быстро приподниматься, а объемъ воды уменьшаться, обращаясь въ паръ. Замѣчательно при этомъ, что, если давленіе p не измѣняется, то съ того момента, какъ пары начали образоваться, температура t воды и пара, не смотря на дальнѣйшее нагрѣваніе, остается постоянною (не измѣняется); усиленіе огня только ускоряло бы кипѣніе. Это постоянство температуры продолжается до тѣхъ поръ, пока имѣется еще хотя одна капля жидкости въ цилиндрѣ; паръ, образовавшійся такимъ образомъ, въ присутствіи жидкости, называется насыщающимъ паромъ, т. е. такимъ, который находится при наибольшихъ упругости и плотности, соотвѣтствующихъ температурѣ жидкости, изъ которой онъ образовался.

Если жидкость и паръ опредѣленной температуры находятся въ закрытомъ сосудѣ и если сосудъ нагрѣвать еще долѣе, то упругая сила частичекъ пара внутри жидкости возрастаетъ; вполнѣ опредѣленное количество новыхъ частицъ пара освобождается изъ жидкости, которыя переходятъ въ паровое пространство и сплотняютъ уже имѣющійся паръ; количество пара, плотность его и упругость безпрерывно возрастаютъ, пока паръ опять не сдѣлается насыщающимъ. Слѣдовательно всякой температурѣ соотвѣтствуетъ особая степень насыщенія. Плотность и давленіе насыщающаго пара зависитъ только отъ его температуры, а не

отъ занимаемаго имъ объема. Если температура въ сосудѣ понижается на какое нибудь число градусовъ, то соотвѣтствующая часть пара тотчасъ превращается въ жидкость: происходитъ конденсація (сгущеніе) пара; несгущенный же паръ остается насыщающимъ. Паръ будетъ всегда насыщающимъ, если онъ еще находится въ соприкосновеніи съ жидкостію.

3) Перегрѣтый паръ. Если жидкость, заключающаяся въ цилиндрѣ, вся превратилась въ паръ и если продолжать нагрѣваніе этого сосуда, то не смотря на опредѣленное постоянное давленіе, температура паровъ не постоянно зависитъ отъ объема находящагося въ цилиндрѣ пара, а всегда больше соотвѣтствующей тому же давленію p при парѣ насыщающемъ; тогда говорятъ, что паръ чѣмъ выше этотъ перегрѣвъ, тѣмъ болѣе паръ приближается къ газамъ, перегрѣвается. Всякій паръ, который не насыщаетъ пространство можетъ быть разсматриваемъ, какъ перегрѣтый. Такіе пары при измѣненіяхъ ихъ упругости и температуры слѣдуютъ закону Маріотта и Гей-Люссака.

4) Упругость и температура насыщающаго водянаго пара. Точный законъ, выражающій зависимость между давленіемъ и температурою насыщающаго пара, неизвѣстенъ. Реньо, на основаніи опытовъ составилъ весьма обширныя таблицы (которыя помѣщены дальше) для температуръ отъ 100 до 200° на стр. 354 и для температуръ отъ 0° до 100° на стр. 357. Таблица Цейнера была вычислена имъ по таблицамъ Реньо.

Насыщающій паръ всегда содержитъ механически увлеченныя частички воды. Не смотря на всѣ пароосушающіе приборы, до сихъ поръ не удалось приготовить для дѣйствія машинъ вполнѣ свободный отъ воды насыщающій паръ. Если смѣсь пара и воды, которая идетъ въ машину, содержитъ воды такъ много, что послѣдняя дѣлается замѣтною въ цилиндрѣ, то имѣемъ мокрый паръ.

5) Сухой паръ, т. е. вполнѣ свободный отъ малѣйшихъ частичекъ воды, можно приготовить только въ перегрѣвателяхъ. Въ большей части случаевъ задача перегрѣвателя состоитъ только въ доставленіи сухаго пара, дѣйствительно же перегрѣтый паръ получается и употребляется рѣдко.

6) Такъ какъ перегрѣтый паръ можетъ испытывать пониженіе температуры, не уменьшая своей упругости, то на пути отъ котла къ машинѣ не происходитъ потеря упругости, каковая неизбѣжна при насыщающемъ парѣ. Далѣе такъ какъ данный объемъ перегрѣтаго пара легче таковаго же объема насыщающаго пара одинаковой упругости, то при одномъ и томъ же наполненіи цилиндра расходуется меньшій вѣсъ пара, питающей воды и топлива. Этими двумя причинами объясняется экономія, которую можно получить отъ перегрѣванія. Опыты, произведенные Пенномъ еще при началѣ употребленія перегрѣвателей, показали, что если паръ упругостію 2,4 клгр. (20 анг. фунт. сверхъ воздушнаго) и съ температурою 125° Ц. перегрѣвается на 55,5° Ц. (100° Ф.), т. е. до 181° Ц., то можно получить сбереженіе топлива въ 20%. Еще къ лучшимъ результатамъ пришелъ Гирнъ при опытахъ, сдѣланныхъ въ Кольмарѣ въ 1856 г. надъ постоянною машиною Вульфа *).

*) Bulletin de la société industrielle de Mulhouse. Band XXVIII 1857.

7) На основаніи сказаннаго слѣдовало бы производить перегрѣваніе какъ можно больше, чтобы работать экономично. Но перегрѣвъ пара имѣетъ свой практическій предѣлъ, который напримѣръ для пара упругостію въ 3 клгр. на кв. см. находится почти при 160° Ц. Если же впускать въ цилиндръ паръ, перегрѣтый выше этого предѣла, то онъ сжигаетъ набивку сальниковъ, улетучиваетъ смазку на поверхностяхъ золотниковъ и цилиндра, обращаетъ ихъ въ твердые остатки и такимъ способомъ быстро разрушаетъ гладкость скользящихъ поверхностей, вызывая нежелательное треніе. Поэтому-то въ тронковыхъ машинахъ вслѣдствіе ихъ большихъ трущихся поверхностей перегрѣваютъ паръ только на 10° выше температуры насыщенія.

8) Найдено, что слишкомъ сильно (до 200° Ц.) перегрѣтый паръ низкаго давленія дѣйствуетъ на части золотничныхъ поверхностей, стержней и пр. совершенно такъ же, какъ будто бы онѣ обгорѣли въ огнѣ. Въ морскихъ машинахъ случалось даже, что при употребленіи слишкомъ сильно перегрѣтаго пара золотники и цилиндръ оказывались какъ бы гальванически покрытыми мѣдью *).

9) Чтобы избѣжать слишкомъ высокихъ температуръ перегрѣва, заставляютъ только часть пара проходить чрезъ перегрѣватель и подводятъ къ нему насыщающій паръ. Вслѣдствіе высшей температуры перегрѣтаго пара обращаются въ паръ частички воды насыщающаго пара, и если это происходитъ вполнѣ, то получается перегрѣтый же паръ, температура коего лишь немножко выше температуры насыщенія; если же это парообразованіе не полное, то — насыщающій паръ съ небольшимъ содержаніемъ воды. Въ обоихъ случаяхъ называютъ эту смѣсь перегрѣтаго и насыщающаго паровъ *смѣшаннымъ паромъ*.

10) Паръ съ упругостію 4 клгр. и съ температурою 143 Ц., перегрѣтый до 170 Ц., снова переходитъ въ состояніе насыщенія при расширеніи въ 1,54 раза. Паръ упругостію въ 6 до 7 клгр. возвращается изъ перегрѣтаго въ насыщенное состояніе еще при меньшемъ расширеніи, такъ что при парахъ высокаго давленія внутри предѣловъ температуры, допускаемыхъ для перегрѣванія, уменьшеніе ихъ удѣльнаго вѣса оказывается уже не столь большимъ, какъ при парахъ низкой упругости. Поэтому въ котлахъ высокаго давленія перегрѣватель часто не дѣлается или же употребляютъ его въ видѣ пароосушителя.

164. Количество теплоты для образованія насыщающаго пара

1) По механической теоріи теплоты полное количество теплоты λ, которое необходимо для превращенія 1 килограмма воды при 0° въ насыщающій паръ опредѣленной температуры t^0, (предполагая, что вода находится подъ давленіемъ p, равнымъ давленію насыщающихъ паровъ, соотвѣтствующему этой температурѣ) составляется изъ двухъ частей (законъ Майэра, стр. 490):

а) Теплоты, которая нагрѣваетъ воду до температуры t^0, при которой начинается образованіе паровъ. Называютъ эту часть *явною* или *чувствуемою* теплотою; обозначимъ ее чрезъ q.

*) Сеннетъ. Морскія паровыя машины, переводъ съ англійскаго Купреянова. 1886 г.

b) Теплоты, которая производитъ измѣненіе состоянія воды, не возвышая температуру, т. е. которая превращаетъ при постоянномъ давленіи 1 клгр. воды при t^0 въ паръ t^0. Эта часть называется скрытою теплотою пара, или теплотою парообразованія; обозначимъ ее чрезъ r. Но при измѣненіи состоянія одна часть скрытой теплоты тратится на размельченіе частицъ воды для обращенія ихъ въ паръ; другая же преодолѣваетъ внѣшнее давленіе p, подъ которымъ паръ образуется; первая часть ρ называется внутреннею скрытою теплотою (внутр. теплотою парообразованія), вторая часть i, потраченная на производство внѣшней работы при образованіи паровъ подъ постояннымъ давленіемъ p, называется внѣшнею скрытою теплотою.

2) Для опредѣленія этихъ различныхъ количествъ теплоты Реньо составилъ на основаніи опытовъ нижеслѣдующія эмпирическія формулы. Имѣемъ: $\lambda = q + r$.

3) Сумма λ явной и скрытой теплоты по Реньо:

$$1)\quad \lambda = 606{,}5 + 0{,}305t \text{ калорій}$$

гдѣ t температура пара. Слѣдовательно это количество теплоты увеличивается съ температурою. λ есть также то количество теплоты, которое оставляетъ 1 клгр. пара вслѣдствіе сгущенія до 0°.

4) Теплота q необходимая для нагрѣванія одного килограмма воды отъ 0° до температуры t, согласно съ Реньо:

$$2)\quad q = t + 0{,}00002t^2 + 0{,}0000003t^3$$

Такъ какъ изъ уравненій 1) и 2) величины λ и q вполнѣ опредѣлены, то и r можно разсматривать какъ величину извѣстную, а именно теплота парообразованія:

$$r = \lambda - q = 606{,}5 - 0{,}695t - 0{,}00002t^2 - 0{,}0000003t^3.$$

Отсюда видно что эта скрытая теплота r уменьшается по мѣрѣ того какъ давленіе или температура увеличивается.

Примѣръ. Для одного килограмма пара при 100° имѣемъ:

Явная теплота = 100 + 0,2 + 0,3 = 100,5 калорій.

Полная теплота = 606,5 + 0,305.100 = 637.

Изъ этихъ 637 калорій 100,5 будутъ явныя, потому что эта теплота необходима для нагрѣванія 1 килограмма воды отъ 0° до 100°. Поэтому скрытая теплота равняется 536,5 калоріи.

5) Внутренняя скрытая теплота по Цейнеру

$$3)\quad \rho = 575{,}4 - 0{,}791t.$$

При $t = 100^0$:

$$\rho = 575{,}4 - 79{,}1 = 496{,}3 \text{ калоріи.}$$

6) Теперь слѣдуетъ опредѣлить внѣшнюю скрытую теплоту i. Пусть T абсолютная температура пара; p соотвѣтствующее ей давленіе пара на 1 кв. м. площади; пусть v удѣльный объемъ пара, т. е. объемъ 1 килограмма насыщающаго пара въ кубич. метр. и σ удѣльный объемъ воды, т. е. объемъ 1 килогр. воды въ смѣси = 0,001 куб. м. и $E = 424$ число Джауля (стр. 490, цифра 1); при образованіи пара происходитъ увеличеніе объема $= v - \sigma = u$.

Если 1 килограммъ воды при температурѣ T помѣстить въ паровой цилиндръ съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв. м. (тогда объемъ пространства подъ поршнемъ будетъ выражаться такимъ же числомъ куб. м., какимъ числомъ линейныхъ метровъ выражается разстояніе поршня отъ дна цилиндра) и заставить его вполнѣ обратиться въ паръ при этой температурѣ, то для этого должно подвести къ нему теплоту r. По мѣрѣ образованія пара поршень будетъ подвигаться съ давленіемъ p на длинѣ пути u; произведеніе $p.\ u$ представляетъ работу пара въ килограммъ-метрахъ. Но эта работа равняется также $i\ E$; слѣдов.

$$4)\quad i=\frac{pu}{E}=Apu\quad\left(\text{гдѣ}\ A=\frac{1}{E}\right);$$

Чтобы можно было вычислить i нужно знать u. Съ этою цѣлію заставимъ паръ расширяться въ вышесказанномъ цилиндрѣ на длинѣ весьма малаго пути; тогда температура T и упругость p понижаются на весьма малыя величины, которыя обозначимъ черезъ $\triangle T$ и $\triangle p$. Теперь паръ совершилъ одну половину кругового процесса Карно. Заставимъ его совершить также и другую половину; для этого при обратномъ ходѣ поршня отъ него сначала отнимается столько теплоты, чтобы его температура $T-\triangle T$ и его упругость $p-\triangle p$ оставались постоянными, и наконецъ онъ превращается чрезъ сжатіе въ воду T градусовъ. Вслѣдствіе этого полезная работа при круговомъ процессѣ для очень малаго уменьшенія упругости$=u.\triangle p$, соотвѣтствующая ей теплота $\frac{u.\triangle p}{E}$. Такъ какъ во время процесса расходъ теплоты$=r$, то пропорція Карно (стр. 493) превращается въ

$$\frac{u.\ \triangle p}{E.\ r}=\frac{\triangle T}{T}$$

откуда для опредѣленія u получается

$$(5)\quad .\ .\ .\ .\ .\quad u=\frac{Er}{T}\cdot\frac{\triangle T}{\triangle p}$$

Чтобы понять эту формулу, вообразимъ себѣ зависимость между T и p изображенною графически. Нанесемъ величины T въ видѣ абсциссъ, величины p въ видѣ ординатъ; получится кривая. Возьмемъ на ней двѣ точки, коихъ координаты T,p и $T+\triangle T$, $p+\triangle p$; если проведемъ черезъ эти точки сѣкущую линію, то она будетъ тѣмъ болѣе приближаться къ касательной въ точкѣ T,p, чѣмъ меньше $\triangle T$. Теперь нужно въ уравненіи (5) вообразить себѣ величины $\triangle T$, $\triangle p$ безконечно малыми, такъ что изъ сѣкущей получится касательная. Направленіе этой касательной къ оси абсциссъ даетъ дробь $\triangle T:\triangle p$, если числитель и знаменатель дроби безконечно малы. Но имѣющіяся величины $\triangle T$ и $\triangle p$ конечная, а не безконечно малыя. Чтобы получить направленіе касательной при помощи конечныхъ величинъ $\triangle T$ и $\triangle p$, прибавимъ на кривой къ двумъ точкамъ съ ординатами p и $\triangle p$ еще третью точку съ ординатою $p-\triangle p$ и проведемъ сѣкущую чрезъ вторую и третью точки; тогда можно предполагать, что эта сѣкущая будетъ весьма приблизительно параллельна касательной въ первой точкѣ T,p. Но тогда при дроби $\triangle T:\triangle p$ фор-

мулы (5) слѣдуетъ ввести въ вычисленіе разности абсциссъ и ординатъ второй и третьей точекъ.

Примѣръ. Требуется опредѣлить объемъ 1 килограмма пара при 5 атмосферахъ. По таблицѣ Реньо ближайшія величины давленія 5,1042 выше и 4,9707 ниже 5 атмосферъ

Температура при 5,1042 атмосферахъ . . . . . $=153{,}00^0$Ц,

Температура „ 4,9707 „ . . . . . $=152{,}00^0$ „

Разность: $\triangle p=0{,}1335$ . . . . . и $\triangle T=1{,}00^0$ „

Поэтому давленіе на поршень . . . . . $0{,}1335.10330=1379$ килогр.

Абсолютная температура . . . . . $T=273+152{,}22=425{,}22^0$Ц.

Скрытая теплота при 5 атм. . . . . $r=499{,}186$ калоріи

Вмѣстѣ съ тѣмъ . . . . . $u=\frac{424.499{,}186}{425{,}22}\cdot\frac{1{,}00}{1379}=0{,}360$ куб. м.

Поэтому искомый объемъ , ... $v=u+0{,}001=0{,}361$ „ „

Таблица даетъ 0,3626 вмѣсто 0,361. Причина этой разницы состоитъ въ томъ, что разности $\triangle T$ и $\triangle p$ должно было бы взять еще поменьше.

Когда величины u вычислены, то можно будетъ опредѣлить и величины $i=Apu$ по (4). Тогда получится $\rho=r\ Apu$ Или можно прямо вычислять ρ по Эмпирической формулѣ Цейнера:

$$\rho=575{,}40-0{,}79t, \text{ тогда } Apu=\lambda-q-\rho=31{,}10+1{,}096t-q$$

При $t=100^0$; $Apu=31{,}1+109{,}6-100{,}5=40{,}2$ калоріи.

7) На основаніи предъидущаго получается также $\lambda=q+\rho+Apu$

При $t^0=100^0$ $\lambda=100{,}5+496{,}3+40{,}2=637$ калорій.

Въ слѣдующей таблицѣ Цейнера величины ρ и Apu вычислены именно по этимъ формуламъ, а величины u получены чрезъ умноженіе Apu на 424/p.

8) Такъ какъ количество теплоты Apu тотчасъ же употребляется для производства работы, то въ полученномъ водяномъ парѣ содержится только явная теплота q и внутренняя скрытая теплота ρ. Поэтому соединяютъ ихъ вмѣстѣ подъ названіемъ

Внутренняя теплота или теплота пара J:

(7) . . . . $J=q+\rho=\lambda-Apu$

при $t=100^0$

$$J=100{,}5+496{,}3=637-40{,}2=596{,}8 \text{ калоріи.}$$

9) При обращеніи воды въ паръ дѣйствуютъ только количества теплоты ρ и Apu, потому что q служитъ только для возвышенія температуры воды. Оба вмѣстѣ обозначаются теплотою парообразованія r

(8) . . . . . $r=\rho+Apu=\lambda-q$

при $t=100^0$

$$r=496{,}3+40{,}2=637-100{,}5=536{,}5 \text{ калоріи.}$$

10) Распредѣленіе количествъ теплоты при образованіи пара уясняется слѣдующею схемою, въ которую введены величины для $t=100^0$.

Полное количество теплоты λ (637 кал.)

q (100,5 кал.) + ρ (496,3 кал.) + Apu (40,2 кал.)

Теплота пара J (596,8 кал.). Теплота парообразованія r (536,5 кал.)

165. Вѣсъ 1 куб. метра пара. Вѣсъ d одного куб. дециметра насыщающаго пара ровенъ 0,622 вѣса воздуха при той же самой температурѣ и томъ же давленіи. Вѣсъ 1 куб. метра пара будетъ $\gamma=1000\,d$, а объемъ 1 килограмма пара $v=1/\gamma$. Эти два количества вычисляются по формуламъ:

$$\gamma=\frac{1{,}06H}{1+0{,}00367t} \quad \text{и} \quad v=\frac{1+0{,}00367t}{1{,}06H}$$

въ которыхъ H есть давленіе, выраженное въ метрахъ ртути. Эти количества даны въ таблицахъ.

При температурѣ 4° объемъ 1 килограмма воды=0,001 кубич. метра; удѣльный объемъ σ воды въ смѣси принимается за величину постоянную и равную=0,001 к. м., такъ что $v=u+0{,}001$. Отношеніе объема пара къ объему воды, изъ коей онъ образовался, есть v: 0,001=1000 v. Слѣдовательно достаточно умножить на 1000 величины v для полученія отношенія объема пара къ объему воды, послужившей для его образованія. Такъ напримѣръ при давленіи 1 атмосферы H=7,6 м. одинъ литръ воды даетъ 1650 литровъ пара.

Примѣръ 1. Въ паровомъ котлѣ, отчасти наполненномъ водою, заключается 2,5 куб. метр. пара при 3 атм. Если упругость пара возвысимъ до 5 атм., то сколько образуется новаго пара въ томъ же самомъ пространствѣ?

Вѣсъ 1 куб. метра пара при 3 атмосф.			=1,7024 килогр.
Вѣсъ 1 куб. метра пара при 5 атмосф.			=2,7500 „
Увеличеніе вѣса на 1 куб. метра пара.			=1,0476 „
Увеличеніе вѣса на 2,5 куб. метра пара . . .	2,5	4,0476	=2,6190 „

Примѣръ 2. Сколько нужно пара при 1 атм., чтобъ 300 килогр. воды нагрѣть отъ 11° до 28° Ц., если паръ изъ котла идетъ прямо въ воду.

Предположимъ, что удѣльная теплота воды постоянно=1. Паръ превращается въ воду при 28°; каждый происходящій отъ этого килограммъ воды содержитъ 28 калорій. Но килограммъ пара при 1 атмосферѣ содержитъ 637 калорій теплоты; слѣд. каждый килогр. пара при конденсаціи отдаетъ 637—28=609 калорій теплоты. Но 300 килогр. воды для возвышенія температуры на 17° требуютъ теплоты =300.17=5100 калорій; слѣд. пара нужно 5100:609=8,38 килогр. Смѣсь будетъ состоять изъ 300+8,38=308,38 килогр. воды при 28°.

Примѣръ 3. Паровой котелъ, содержавшій 2000 килогр. воды, лопнулъ при давленіи 6 атмосф. Сколько въ атмосферѣ внезапно образуется пара изъ этой воды?

Т. к. вода имѣла температуру почти 160°, то естественно, что парообразованіе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока вода не охладится до 100°, т. е пока она не превратится въ кипятокъ при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи. Явная теплота при 6 атмосферахъ=160,938, а при 1 атмосферѣ=100,5; разность= 60,4 калорій. Слѣдов. для образованія пара вода отдаетъ количество теплоты= 60,4.2000 калорій; но образующійся паръ имѣетъ упругость 1 атмосф., и потому требуетъ прибавку теплоты 536,5 калорій на 1 килогр. Количество образующагося пара будетъ=60,4 2000:536,5=225,1 килогр. Этотъ паръ займетъ пространство 225,1.1,650=371 куб. метра.—Здѣсь лежитъ причина гибельности взрывовъ паровиковъ: убиваютъ людей не летящіе куски желѣза, но обвариваетъ кипятокъ и мгновенно образующійся въ огромномъ количествѣ паръ.

166. Теплота влажнаго пара. Пусть q явная теплота воды въ моментъ парообразованія, r скрытая теплота необходимая для образованія 1 килогр. пара и m вѣсъ чистаго сухаго пара, содержащагося въ 1 килогр. влажнаго пара, то при образованіи m килогр. пара употребляется mr калорій; слѣд. теплота, содержащаяся въ 1 килогр. смѣси,

$$(6) \ldots\ldots q+mr,$$

Далѣе пусть q_0 явная теплота питающей воды, то котелъ долженъ отдать въ 1 килогр. такого пара количество теплоты, равное

$$(7) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad q - q_0 + mr.$$

Примѣръ. Вода поступаетъ въ котелъ при 10° и обращается въ паръ съ 5 атм. давленія; но паръ содержитъ 30% воды. слѣдов. $q=153{,}7$; $q_0=10$; $m=0{,}7$; $r=499{,}2$; слѣд. теплота, которую принимаетъ 1 килогр. такого пара въ котлѣ, $=153{,}7-10+0{,}7.499{,}2=493{,}1$ калоріи.

167. Теплота перегрѣтаго пара. По Реньо (стр. 488) удѣльная теплота пара$=0{,}4805$; по Гирну она м. б. принимаема$=0{,}5$. Поэтому, если насыщающій паръ будетъ нагрѣтъ отъ t до t' градусовъ, то онъ принимаетъ $0{,}5(t'-t)$, а полная теплота, содержащаяся въ 1 килограммѣ этого пара

$$=606{,}5+0{,}305t+0{,}5(t'-t).$$

Это будетъ также то количество теплоты, которое доставляетъ 1 килогр. перегрѣтаго до t' градусовъ пара при его сгущеніи до 0°.

168. Содержаніе воды во влажномъ парѣ. Къ пару, выходящему изъ котла, всегда примѣшивается обыкновенная вода. Если проведемъ такой паръ въ холодную воду, такъ, чтобы онъ въ ней вполнѣ конденсировался, то посредствомъ такого опыта можно опредѣлить содержаніе воды въ парѣ.

Пусть вѣсъ пара$=1$ килогр.; пусть въ немъ содержится m килогр. чистаго пара съ явною теплотою q и теплотою парообразованія r, то этотъ паръ содержитъ$=q+mr$ калоріи теплоты. Этотъ паръ конденсируется въ p килограммахъ воды, явная теплота которой пусть$=q_0$; слѣдов. эта вода содержитъ pq_0 калорій теплоты. Послѣ смѣшенія получается $(1+p)$ килогр. воды; пусть ея явная теплота q_1, то количество теплоты въ этой водѣ$=(1+p)q_1$. Если во время процесса теплота не теряется, то должно быть

$$(8) \quad . \quad . \quad q_1(1+p)=pq_0+q+mr, \text{ откуда можно опредѣлить } m.$$

Примѣръ. Холодная вода имѣетъ 10°; паръ 152,2° и происходящая отъ смѣшенія вода 20°; то $q_0=10$; $q=153{,}7$; $r=499{,}2$; $q_1=20$. Примемъ теперь вѣсъ холодной воды для 1 килогр. пара равнымъ 50 килогр., то

$$20(50+1)=50.10+153{,}7=499{,}2\ m; \text{ откуда } m=0{,}734.$$

Поэтому 1 килогр. влажнаго пара, выходящаго изъ котла, содержитъ 0,734 килогр. пара и 0,266 килогр. воды.

169. Количество пара на 1 килограммъ топлива. Пусть H теплотворная способность и w полезное дѣйствіе топки, то wH калорій есть полезная теплота. Если q_0, q, m и r имѣютъ значеніе, какъ въ 8 пунктѣ, то 1 килогр. влажнаго пара требуетъ теплоты$=q-q_0+mr$. Поэтому однимъ килограммомъ топлива можно получить слѣдующій вѣсъ G влажнаго пара

$$(9) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad G=\frac{wH}{q-q_0+mr}.$$

Количество пара будетъ велико, если теплотворная способность и полезное дѣйствіе велики, если вода входитъ въ котелъ съ высокою температурою, т. е. подогрѣтая и если паръ содержитъ много воды.

Примѣръ. Теплотворная способность каменнаго угля $H=7000$ калорій; полезное дѣйствіе топки $w=0{,}7$; температура питающей воды $=0^0$, слѣд. и $q_0=0$; вода испаряется при 6 атмосф. давленія, такъ что $q=160{,}9$ калоріи; далѣе паръ содержитъ 10% воды, слѣд. $m=0{,}9$ килогр. Поэтому 1 килогр. этого каменнаго угля дастъ слѣдующее количество пара, такъ какъ $r=494{,}1$:

$$G=(0{,}7.7000):(160{,}9+0{,}9.494{,}1)=8{,}09 \text{ килогр.}$$

Количество пара въ килограммахъ на 1 килограммъ топлива.

Теплотворная способность.	При полезномъ дѣйствіи топки								
	0,80			0,70			0,60		
	и при содержаніи воды въ парѣ.								
	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2
7500	9,19	9,95	10,85	8,04	8,71	9,49	6,89	7,47	8,14
7000	8,57	9,29	10,13	7,50	8,12	8,86	6,43	6,96	7,59
6500	7,96	8,62	9,40	6,97	7,54	8,22	5,97	6,46	7,05
6000	7,35	7,96	8,68	6,43	6,94	7,59	5,51	5,97	6,51

170. Измѣненіе количества пара при расширеніи и сжатіи. Если паръ расширяется въ сосудѣ такъ, что сосудъ не принимаетъ и не отдаетъ теплоту, то паръ будетъ заимствовать для расширенія часть своей собственной теплоты и именно такую часть, которая при расширеніи обращается въ работу. Эта въ работу превращающаяся теплота имѣетъ послѣдствіемъ то, что часть пара конденсируется.

Если насыщающій паръ будетъ сжимаемъ въ сосудѣ опять при условіи, что заключающій его сосудъ не принимаетъ и не отдаетъ теплоту, то для сжиманія должна быть затрачена внѣшняя работа; эта работа превращается въ теплоту, которую паръ и принимаетъ. Вслѣдствіе этого принятія теплоты паръ перегрѣвается.

Пусть: T абсолютная температура пара, r его скрытая теплота и m количество пара, содержащагося въ 1 килогр. смѣси при начальномъ состояніи; далѣе T_1, r_1 и m_1 тѣже самыя величины въ концѣ расширенія, а средняя удѣльная теплота смѣси 1,018; тогда m_1 можно вычислить по слѣдующей формулѣ Клаузіуса:

$$(10)\ldots\ldots\frac{m_1 r_1}{T_1}=\frac{mr}{T}+1{,}018.2{,}3026\log\frac{T}{T_1}.$$

Законъ этотъ примѣнимъ и для сжатія, если только паръ не перегрѣвается.

Примѣръ 1. Паръ въ 6 атмосферъ, производя работу, расширяется до тѣхъ поръ, пока давленіе понизится до 0,8 атмосферы. Содержаніе воды въ немъ $=0{,}05$; какъ велико содержаніе воды при концѣ расширенія?

Здѣсь $m=0{,}95$ и по таблицѣ Цейнера для 1 клгр. пара

$r=494{,}2$ калоріи; $T=159{,}22+273=432{,}22^0$

$r_1=540{,}8$ „ $T_1=93{,}88+273=366{,}88^0$

Поэтому на основаніи уравненія (10):

$$\frac{m_1.540{,}8}{366{,}88}=\frac{0{,}95.494{,}2}{432{,}22}+1{,}018.2{,}3026.\ log\frac{432{,}22}{366{,}88}$$

$$m_1.1{,}47495=1{,}08629+0{,}16685;\ m_1=0{,}8496,$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ при конечномъ состояніи смѣсь состоитъ приблизительно изъ 85 процентовъ пара и 15 процентовъ воды. Къ первоначальному содержанію воды въ 5 процентовъ прибавились еще 10 процентовъ.

Примѣръ 2. Во время расширенія теплота превращается въ работу. Эта теплота отчасти берется изъ воды, содержащейся въ парѣ, такъ какъ ея температура понижается. Можно вообразить себѣ, что содержаніе воды въ конечномъ состояніи равно содержанію въ начальномъ состояніи. Какъ велико это содержаніе, если давленіе какъ и прежде отъ 6 понижается до 0,8 атм.

Здѣсь $m_1=m$ слѣдуетъ разсматривать, какъ неизвѣстныя. Поэтому по формулѣ (10)

$$m\left(\frac{540{,}8}{366{,}88}-\frac{494{,}2}{432{,}22}\right)=0{,}16685;\quad m=0{,}5046.$$

Въ этомъ случаѣ смѣсь содержитъ 0 5046 пара и 0,4954 воды.

171. Давленіе пара во время расширенія и сжатія. Если измѣненіе состоянія пара совершается путемъ адіабатическимъ (стр. 492), то давленіе измѣняется по закону Пуассона (стр. 439).

$$(11)\quad \ldots\ldots\quad p:p_0=(v_0:v)^x$$

гдѣ p_0 и v_0 давленіе и удѣльный объемъ пара въ начальномъ состояніи

p и v „ „ „ „ „ конечномъ „

Въ примѣрѣ 1 предыдущаго параграфа были предположены въ начальномъ состояніи: давленіе 6 атмосферъ, воды 0,05 клгр. и пара 0,95 клгр. и расширеніе продолжалось до давленія 0,8 атм. При этомъ получилось удѣльное количество пара 0,85 клгр. Примѣнимъ теперь формулу (11) къ этому процессу для опредѣленія показателя x. Пусть $p_0=6$; $p=0{,}8$ и по таблицѣ Цейнера:

Объемъ 1 клгр. пара при 6 атм. . . . . $=0{,}306$ куб. м.
Объемъ 1 клгр. пара при 0,8 атм. . . . . $=2{,}037$ „ „
Поэтому объемъ 0,95 клгр. пара при 6 атм. . . $=0{,}95.0{,}306=0{,}2907$ куб. м.
и объемъ 0,85 клгр. пара при 0,8 атм. . . $=0{,}85.2{,}037=1{,}7314$ „ „

Если подставимъ эти величины въ (11), то получимъ

$$\frac{0{,}8}{6}=\left(\frac{1{,}7314}{0{,}2907}\right)^x;\quad \text{откуда } x=1{,}129.$$

Но эта величина x годится только для пара съ первоначальнымъ содержаніемъ воды 0,05; при другомъ содержаніи воды измѣняется и показатель x. Обозначимъ, подобно предъидущему, буквою m удѣльное содержаніе пара при начальномъ состояніи; то приблизительно

$$(12)\quad \ldots\ldots\quad x=1{,}033+0{,}1\,m.$$

Если подставить сюда $m=0{,}95$ соотвѣтственно предположенію, то

$$x=1{,}033+0{,}1.0{,}95=1{,}128$$

т. е. близко къ вышеполученному.

Для сухаго пара будетъ $m=1$; поэтому показатель для такого пара

$$(13)\quad \ldots\ldots\quad x=1{,}133.$$

172. Расширеніе водяного пара. 1) Многочисленные точные индикаторныя изслѣдованія показали, что состояніе пара при его расширеніи зависитъ главнымъ образомъ отъ свойства стѣнокъ сосуда, въ которомъ онъ расширяется.

2) Въ цилиндрахъ безъ паровой рубашки стѣнки цилиндра принимаютъ среднюю температуру, находящуюся между температурами входящаго и выходящаго пара. Вслѣдствіе этого часть входящаго пара сгущается и онъ испытываетъ пониженіе упругости. Пониженіе температуры во время расширенія причиняетъ обращеніе въ паръ воды, осѣв-

шей на стѣнкахъ цилиндра. Этотъ паръ вмѣстѣ съ паромъ притекающимъ чрезъ неплотныя мѣста въ частяхъ парораспредѣленія увеличиваетъ объемъ расширяющагося пара и поддерживаетъ его при высшей упругости. Поэтому индикаторная кривая будетъ линія, которая лежитъ между адіабатою и изотермою (Маріоттовой кривой), но ближе всего подходитъ къ послѣдней. Эта работа пара не выгодна, такъ какъ работа, производимая при концѣ расширенія, получается на счетъ теплоты, которая была отнята при входѣ. Слѣдовательно процессъ этотъ противорѣчитъ основнымъ правиламъ. Кромѣ того тщательные опыты показали, что не вся вода, осѣвшая въ періодъ входа, снова обращается въ паръ при концѣ расширенія, но что въ цилиндрѣ остается нѣкоторое количество воды, которое обращается въ паръ при обратномъ ходѣ поршня. Вслѣдствіе этого стѣнки цилиндра возвращаются къ ихъ низкой начальной температурѣ и при слѣдующемъ входѣ свѣжаго пара снова могутъ сгущать паръ.

3) Въ цилиндрахъ съ паровою рубашкою стѣнки цилиндра принимаютъ температуру входящаго пара, если только онѣ нагрѣваются свѣжимъ паромъ изъ котла, какъ это большею частію и бываетъ. Поэтому входящій паръ не сгущается и сохраняетъ свою упругость. Во время расширенія пара къ нему подводится теплота отъ нагрѣтыхъ стѣнокъ цилиндра, хотя въ небольшомъ количествѣ, потому что на стѣнкахъ цилиндра образуется слой перегрѣтаго пара, который, будучи худой проводникъ тепла, задерживаетъ передачу теплоты. Неплотность частей парораспредѣленія здѣсь тоже оказываетъ свое вліяніе и въ соединеніи съ лучеиспусканіемъ теплоты паровою рубашкою производитъ то, что индикаторная кривая не есть адіабата, но опять-таки приближается къ кривой Маріотта хотя и въ меньшей мѣрѣ, чѣмъ въ цилиндрахъ безъ паровой рубашки.

4) Изъ предъидущихъ соображеній слѣдуетъ, что законъ Маріотта лучше всего соотвѣтствуетъ дѣйствительному состоянію расширяющагося водянаго пара, какъ это и доказываютъ индикаторныя діаграммы. Поэтому этотъ эмпирическій законъ всегда примѣняется какъ при вычисленіи работы пара, такъ и для изслѣдованія индикаторныхъ діаграммъ.

173. Скорость теченія пара. Пусть $q+mr$ и $q_1+m_1r_1$ количества теплоты, которыя содержитъ паръ непосредственно передъ отверстіемъ и позади отверстія, чрезъ которое паръ вытекаетъ со скоростію v; то разности этихъ двухъ количествъ теплоты соотвѣтствуетъ живая сила $=1.\frac{v^2}{2g}$; поэтому

$$\frac{v^2}{2g}=424\ (q-q_1+mr-m_1r_1).$$

Разность $mr-m_1r_1$ очень мала въ сравненіи съ разностію $q-q_1$; поэтому искомая скорость приблизительно

$$(11)\quad \ldots\ldots\ldots\ldots\quad v=\sqrt{424.\,2g\,(q-q_1)}.$$

Примѣръ. Съ какою скоростію вытекаетъ двухъатмосферный паръ въ свободный воздухъ?

По таблицѣ 358 имѣемъ при 2 атм. . . . . $q=121{,}4$ калоріи

при 1 атм. . . . . $q_1=100{,}5$ „

Скорость $v=\sqrt{424.2.9{,}808(121{,}4-100{,}5)}=417$ метра

Таблица для насыщающихъ водяныхъ паровъ, по Цейнеру.

Упругость пара p.		Температура t въ градусахъ Цельсія.	Полная теплота для образованія 1 килограмма пара $\lambda = q + \rho + Apu$			Разность удѣльныхъ объемовъ пара (v) и воды (σ) $u = v - \sigma$ въ кубическ. метрахъ.	Плотность $\gamma =$ Вѣсъ 1 кубическаго метра пара въ килограмм.
			Теплота содержащаяся въ жидкости $= q$	Теплота парообразованія r			
Въ атмосферахъ по 760 мм. ртутнаго столба.	Въ килограммахъ на квадратн. метръ.			Внутренн. скрытая теплота ρ	Внѣшняя скрытая теплота Apu		
			въ калоріяхъ.				
0,1	1033	46,2	46,282	538,848	35,464	14,5508	0,0687
0,2	2067	60,5	60,589	527,584	36,764	7,5421	0,1326
0,3	3100	69,5	69,687	520,433	37,574	5,1388	0,1945
0,4	4133	76,3	76,499	515,086	38,171	3,9154	0,2553
0,5	5167	81,7	82,017	510,767	38,637	3,1705	0,3153
0,6	6200	86,3	86,662	507,121	39,045	2,6700	0,3744
0,7	7234	90,3	90,704	503,957	39,387	2,3086	0,4330
0,8	8267	93,9	94,304	501,141	39,688	2,0355	0,4910
0,9	9300	97,1	97,543	498,610	39,957	1,8216	0,5487
1,0	10334	100,0	100,500	496,300	40,200	1,6494	0,6059
1,1	11367	102,7	103,216	494,180	40,421	1,5077	0,6628
1,2	12400	105,2	105,740	492,210	40,626	1,3891	0,7194
1,3	13434	107,5	108,104	490,367	40,816	1,2882	0,7757
1,4	14467	109,7	110,316	488,643	40,993	1,2014	0,8317
1,5	15501	111,7	112,408	487,014	41,159	1,1258	0,8874
1,6	16534	113,7	114,389	485,471	41,315	1,0595	0,9430
1,7	17568	115,5	116,269	484,008	41,463	1,0007	0,9983
1,8	18601	117,3	118,059	482,616	41,602	0,9483	1,0534
1,9	19635	119,0	119,779	481,279	41,734	0,9012	1,1084
2,0	20668	120,6	121,417	480,005	41,861	0,8588	1,1631
2,2	22734	123,6	124,513	477,601	42,096	0,7851	1,2721
2,5	25835	127,8	128,753	474,310	42,416	0,6961	1,4345
2,7	27901	130,4	131,354	472,293	42,610	0,6475	1,5420
3,0	31002	133,9	134,989	469,477	42,876	0,5864	1,7024
3,2	33068	136,1	137,247	467,729	43,040	0,5518	1,8088
3,5	36169	139,2	140,438	465,261	43,269	0,5072	1,9676
3,7	38236	141,2	142,453	463,703	43,413	0,4814	2,0729
4,0	41336	144,0	145,310	461,496	43,614	0,4474	2,2303
4,2	43403	145,8	147,114	460,104	46,739	0,4273	2,3349
4,5	46503	148,3	149,708	458,103	43,918	0,4004	2,4911
4,7	48570	150,0	151,360	456,829	43,030	0,3844	2,5949
5,0	51670	152,2	153,741	454,994	44,192	0,3626	2,7500
5,2	53737	153,7	155,262	453,823	44,293	0,3495	2,8531
5,5	56837	155,8	157,471	452,123	44,441	0,3315	3,0073
5,7	58904	157,2	158,880	451,039	44,533	0,3205	3,1098
6,0	62004	159,3	160,938	449,457	44,667	0,3054	3,2632
6,2	64071	160,5	162,255	448,444	44,753	0,2962	3,3652
6,5	67171	162,4	164,181	446,965	44,876	0,2833	3,5178
6,7	69238	163,6	165,428	446,008	44,956	0,2753	3,6192
7,0	72338	165,3	167,243	444,616	45,070	0,2642	3,7711
7,5	77505	168,1	170,142	442,393	45,250	0,2475	4,0234
8,0	82672	170,8	172,888	440,289	45,420	0,2329	4,2745
8,5	87839	173,4	175,514	438,280	45,578	0,2200	4,5248
9,0	93006	175,8	178,017	436,366	45,727	0,2085	4,7741
9,5	98173	178,1	180,408	434,539	45,868	0,1981	5,0226
10,0	103340	180,3	182,719	432,775	46,001	0,1887	5,2704
10,5	108507	182,4	184,927	431,090	46,127	0,1802	5,5174
11,0	113674	184,5	187,065	429,460	46,247	0,1725	5,7636
11,5	118841	186,5	189,131	427,886	46,362	0,1654	6,0092
12,0	124008	188,4	191,126	426,368	46,471	0,1589	6,2543
12,5	129175	190,3	193,060	424,896	46,576	0,1529	6,4986
13,0	134342	192,1	194,944	423,465	46,676	0,1473	6,7424
13,5	139509	193,8	196,766	422,080	46,772	0,1421	6,9857
14,0	144766	195,5	198,537	420,736	46,864	0,1373	7,2283

Таблица упругости водяного пара, отъ 100 до 200°, по опытамъ Реньо; вѣса γ одного кубическаго метра и объема v одного килограмма пара; вѣса кубическаго метра воздуха при тѣхъ же самыхъ температурѣ и давленіи (отъ 0° до 100° смотри стр. 512).

Температура t	Упругость пара. въ атмосферахъ.	Упругость пара. въ высотѣ столба ртути.	Упругость пара. въ высотѣ столба воды.	Паръ. вѣсъ 1 кубическаго метра γ	Паръ. Объемъ 1 килограмма v	Воздухъ. Вѣсъ одного кубич. метра.
	атм.	метры.	метры.	килогр.	куб. м.	килогр.
100°	1,0000	0,76000	10,3329	0,58841	1,6995	0,94600
101	1,0363	0,78759	10,7080	0,60814	1,6444	0,97772
102	1,0737	0,81601	11,095	0,62840	1,5913	1,01030
103	1,1122	0,84528	11,492	0,64921	1,5403	1,04376
104	1,1518	0,87541	11,902	0,67057	1,4913	1,07808
105	1,1926	0,90641	12,323	0,69247	1,4441	1,1133
106	1,2346	0,93831	12,757	0,71495	1,3987	1,1494
106.36	1,25	0,95000	12,916	0,72317	1,3828	1,1627
107	1,2778	0,97114	13,204	0,73802	1,3550	1,1865
108	1,3222	1,00491	13,663	0,76167	1,3129	1,2246
109	1,3680	1,03965	14,138	0,78594	1,2724	1,2636
110	1,4150	1,07537	14,621	0,81082	1,2333	1,3036
111	1,4636	1,11209	15,120	0,83631	1,1957	1,3446
111.74	1,50	1,14000	15,499	0,85565	1,1687	1,3757
112	1,5129	1,14983	15,633	0,86245	1,1595	1,3866
113	1,5640	1,18861	16,160	0,88922	1,1246	1,4296
114	1,6164	1,22847	16,702	0,91666	1,0909	1,4737
115	1,6703	1,26941	17,259	0,94477	1,0585	1,5189
116	1,7256	1,31147	17,831	0,97356	1,02716	1,5652
116.43	1,75	1,33000	18,083	0,98622	1,01397	1,5856
117	1,7824	1,35466	18,418	1,00304	0,99697	1,6126
118	1,8408	1,39902	19,021	1,03323	0,96784	1,6611
119	1,9007	1,44455	19,640	1,06413	0,93973	1,7108
120	1,9622	1,49128	20,275	1,0958	0,91261	1,7617
120.60	2,00	1,52000	20,656	1,1151	0,89674	1,7929
121	2,0253	1,53925	20,928	1,1281	0,88642	1,8137
122	2,0901	1,58847	21,597	1,1613	0,86114	1,8670
123	2,1565	1,63896	22,283	1,1951	0,83673	1,9214
124	2,2247	1,69076	22,987	1,2298	0,81314	1,9772
124.36	2,25	1,71000	23,249	1,2427	0,80472	1,9978
125	2,2946	1,74388	23,710	1,2652	0,79036	2,0342
126	2,3663	1,79835	24,450	1,3012	0,76853	2,0919
127	2,4397	1,85420	25,210	1,3385	0,74708	2,1520
127.80	2,50	1,90000	25,832	1,3689	0,73053	2,2008
128	2,5151	1,91147	25,988	1,3765	0,72651	2,2129
129	2,5923	1,97015	26,786	1,4152	0,70663	2,2752
130	2,6714	2,03028	27,604	1,4547	0,68741	2,3388
130.97	2,75	2,09000	28,415	1,4939	0,66938	2,4018
131	2,7525	2,09194	28,442	1,4952	0,66881	2,4039
132	2,8356	2,15503	29,300	1,5365	0,65084	2,4702
133	2,9206	2,21969	30,179	1,5787	0,63344	2,5381
133.91	3,00	2,28000	30,999	1,6179	0,61807	2,6012
134	3,0078	2,28592	34,079	1,6218	0,61660	2,6074
135	3,0970	2,35373	32,001	1,6658	0,60031	2,6781
136	3,1884	2,42316	32,945	1,7107	0,58454	2,7504
136.66	3,25	2,47000	31,582	1,7410	0,57438	2,7990
137	3,2819	2,49423	33,911	1,7566	0,56928	2,8241
138	3,3776	2,56700	34,901	1,8035	0,55449	2,8995
139	3,4753	2,64144	35,913	1,8555	0,53893	2,9831

Температура t	Упругость пара.			Паръ.		Воздухъ.
	въ атмосферахъ.	въ высотѣ столба ртути	въ высотѣ водяного столба.	Вѣсъ одного кубическаго метра γ	Объемъ одного килогр. v	Вѣсъ кубическаго метра.
	атм.	метр.	метр.	килогр.	м куб.	килогр.
139,25	3,50	2,66000	36,165	1,8631	0,53683	2,9954
140	3,5758	2,71763	36,949	1,9044	0,52510	3,0617
141	3,6784	2,79557	38,008	1,9498	0,51288	3,1347
141,68	3,75	2,85000	38,748	1,9845	0,50391	3,1905
142	3,7833	2,87530	38,092	2,0006	0,49986	3,2163
143	3,8904	2,95686	40,201	2,0524	0,48724	3,2996
144	4,0003	3,04026	41,335	2,1052	0,47502	3,3845
145	4,1126	3,12555	42,495	2,1591	0,46317	3,4712
146	4,2273	3,21274	43,680	2,2140	0,45168	3,5595
146,19	4,25	3,23000	43,915	2,2249	0,44947	3,4770
147	4,3446	3,30187	44,892	2,2700	0,44053	3,6495
148	4,4644	3,39298	46,131	2,3271	0,42973	3,7413
148,29	4,50	3,42000	46,498	2,3440	0,42662	3,7685
149	4,5870	3,48609	47,396	2,3852	0,41924	3,8348
150	4,7121	3,58123	48,690	2,4445	0,40908	3,9301
150,30	4,75	3,61000	49,081	2,4624	0,40610	3,9589
151	4,8400	3,67843	50,012	2,5050	0,39921	4,0273
152	4,9707	3,77774	51,362	2,5665	0,33963	4,1263
152,22	5,00	3,80000	51,665	4,5803	0,38755	4,1484
153	5,1042	3,87918	52,741	2,6293	0,38034	4,1271
154	5,2405	3,98277	54,150	2,6931	0,37131	4,3298
154,07	5,25	3,99000	54,248	2,6976	0,37070	4,3370
155	5,3797	4,08856	55,588	2,7582	0,36256	4,4344
155,85	5,50	4,18000	56,831	2,8143	0,35533	4,5246
156	5,5218	4,19659	57,057	2,8245	0,35405	4,5410
157	5,6669	4,30688	58,556	2,8920	0,34579	4,6495
157,64	5,75	4,37000	59,414	2,9305	0,34124	4,7114
158	5,8151	4,41945	60,086	2,9606	0,33776	4,7599
159	5,9663	4,53436	61,649	3,0306	0,32997	4,8723
159,22	6,00	4,56000	61,997	3,0462	0,32828	4,8974
160	6,1206	4,65162	63,243	3,1018	0,32240	4,9863
161	6,2780	4,77128	64,870	3,1742	0,31504	5,1033
162	6,4386	4,89336	66,530	3,2479	0,30789	5,2218
162,37	6,50	4,94000	67,164	3,2761	0,30524	5,2671
163	6,6025	5,01791	68,223	3,3230	0,30094	5,3424
164	6,7697	5,14497	69,951	3,3993	0,29418	5,4651
165	6,9402	5,27454	71,712	3,4770	0,28761	5,5900
165,34	7,00	5,32000	72,330	3,5042	0,28535	5,6338
166	7,1141	5,40669	73,509	3,5549	0,38122	5,7169
167	7,2913	5,54143	75,341	3,6363	0,27501	5,8461
168	7,4721	5,67882	77,209	3,7171	0,26903	5,9760
168,15	7,50	5,70000	77,497	3,7306	0,26806	5,9977
169	7,6564	5,81890	70,113	3,8011	0,26309	6,1110
170	7,8443	5,96166	81,054	3,8855	0,25737	6,2468
170 81	8,00	6,08000	82,663	3,9554	0,25282	6,3591
171	8,0358	6,10719	83,033	3,9714	0,25180	6,3848
172	8,2309	6,25548	85,049	4,0586	0,24639	6,5252
173	8,4297	6,40660	87,104	4,1474	0,24112	6,6978
173,35	8,50	6,46000	87,830	4,1786	0,23931	6,7181

Смотри (стр. 512) таблица упругостей отъ 0° до 100°.

Температура t	Упругость пара. въ атмосферахъ.	Упругость пара. въ высотѣ столба ртути	Упругость пара. въ высотѣ водяного столба.	Паръ. Вѣсъ одного кубическаго метра γ	Паръ. Объемъ одного килограм. v	Воздухъ. Вѣсъ кубическаго метра.
	атм.	метр.	метр.	килогр.	м. куб.	килогр.
174	8,6323	6,56055	89,197	4,2375	0,23599	6,8127
175	8,8387	6,71743	91,330	4,3292	0,23099	6,9600
175,77	9,00	6,84000	92,996	4,4006	0,22724	7,0749
176	9,0490	6,87722	93,502	4,7222	0,22613	7,1097
177	9,2631	7,03997	95,715	4,5168	0,22140	7,2618
178	9,4812	7,20572	97,968	4,6129	0,21678	7,4162
178,08	9,50	7,22000	98,163	4,6212	0,21639	7,4296
179	9,7033	7,37452	100,263	4,7105	0,21229	7,5732
180	9,9295	7,54639	102,600	4,8096	0,20790	7,7325
180,31	10,00	7,60000	103,329	4,8406	0,20659	7,7821
181	10,1597	7,72137	104,980	4,9103	0,20365	7,8944
182	10,3941	7,89952	107,402	5,0125	0,19950	8,0588
183	10,6327	8,08084	109,87	5,1163	0,19545	8,2256
184	10,8755	8,26540	112,37	5,2217	0,19151	8,3951
184,50	11,00	8,36000	113,66	5,2757	0,18955	8,4819
185	11,1226	8,45323	114,93	5,3287	0,18766	8,5671
186	11,3741	8,64435	117,53	5,4373	0,18391	8,7417
187	11,6300	8,83882	120,17	5,5475	0,18026	8,9189
188	11,8903	9,03668	122,86	5,6594	0,17670	9,0987
188,41	12,00	9,12000	123,99	5,7065	0,17523	9,1744
189	12,1542	9,23725	125,59	5,7725	0,17324	9,2805
190	12,4246	9,44270	128,38	5,8881	0,16983	9,4664
191	12,6986	9,65093	131,22	6,0050	0,16653	9,6543
192	13,9772	9,86271	134,09	6,1235	0,16331	9,8449
192,08	13,00	9,88000	134,33	6,1332	0,16305	9,8605
193	13,2605	10,07804	137,02	6,2438	0,16016	10,0382
194	13,5487	10,29701	140,00	6,3658	0,15709	10,2344
195	13,8416	10,51963	143,02	6,4895	0,15410	10,4332
195,53	14,00	10,64000	144,66	6,5563	0,15253	10,5407
196	14,1394	10,74592	146,10	6,6149	0,15117	10,6349
197	14,4408	10,97597	149,22	5,7415	0,14834	10,8390
198	14,7498	11,20979	152,41	6,8712	0,14554	11,047
198,80	15,00	11,40000	154,89	6,9759	0,14335	11,215
199	15,0625	11,44643	155,64	7,0020	0,14282	11,257
200	15,3802	11,68690	158,92	7,1345	0,14016	11,470

Смотри слѣдующую страницу: таблица упругости пара отъ 0° до 100°.

174. Гигрометрія и сушеніе. Отношеніе между влажностію существующею въ воздухѣ и влажностію, которая его насыщала бы, называется относительною влажностію или гигрометрическимъ состояніемъ. Оно измѣряется посредствомъ психрометра Августа, состоящаго изъ двухъ совершенно тождественныхъ термометровъ, раздѣленныхъ на десятыя части градуса; одинъ изъ термометровъ постоянно поддерживается влажнымъ, для чего онъ обвертывается кисеею, увлажняемою посредствомъ фитиля, погруженнаго въ воду. Вслѣдствіе испаренія воды температура смоченнаго термометра понижается до точки появленія росы.

Упругость водянаго пара отъ 0 до 100°, по Реньо, въ сантиметрахъ ртутнаго столба.

t	см	t	см	t	см	t	см	t	см
0°	0,46	21°	1,85	41°	5,79	61°	15,58	81°	36,93
1	0,49	22	1,97	42	6,11	62	16,32	82	38,44
2	0,53	23	2,09	43	6,43	63	17,08	83	40,01
3	0,57	24	2,22	44	6,78	64	17,87	84	41,63
4	0,61	25	2,36	45	7,14	65	18,69	85	43,30
5	0,65	26	2,50	46	7,52	66	19,55	86	45,03
6	0,70	27	2,65	47	7,91	67	20,44	87	46,82
7	0,75	28	2,81	48	8,32	68	21,36	88	48,67
8	0,80	29	2,98	49	8,75	69	22,32	89	50,58
9	0,86	30	3,15	50	9,20	70	23,31	90	52,55
10	0,92	31	3,34	51	9,67	71	24,34	91	54,58
11	0,98	32	3,54	52	10,15	72	25,41	92	56,68
12	1,05	33	3,74	53	10 66	73	26 51	93	58,84
13	1,12	34	3,96	54	11,19	74	27,66	94	61,07
14	1,19	35	4,18	55	11,75	75	28,85	95	63,38
15	1,27	36	4,42	56	12,32	76	30,08	96	65,75
16	1,35	37	4,67	57	12,93	77	31,36	97	68,20
17	1,44	38	4,93	58	13,55	78	32,68	98	70,73
18	1,54	39	5,20	59	14,20	79	34,05	99	73,33
19	1,63	40	5,49	60	14,88	80	35,46	100	76,00
20	1,74	—	—	—	—	—	—	—	—

Пусть t показаніе сухаго термометра; t' показаніе мокраго термометра; H высота барометра въ сантиметр., h' упругость пара въ см. ртути при температурѣ t', упругость h_1 пара содержащагося въ испытуемомъ воздухѣ будетъ

$$h_1 — h' — 0{,}00804\ (t — t')\ H.$$

Пусть h упругость пара при температурѣ t, относительная влажность, будетъ $\frac{h_1}{h}$; а вѣсъ пара, содержащагося въ куб. м. испытываемаго воздуха будетъ:

$$\frac{h_1}{h} \times \frac{1{,}293.0{,}622h}{0{,}76\ (1 + 0{,}00367\ t)}.$$

Для величинъ h, отъ 0 до 100°, смотри таблицу предъидущую.

Можно также воспользоваться волосянымъ гигрометромъ Соссюра, съ помощію слѣдующей таблицы, составленной Гей-Люссакомъ для температуръ отъ 10 градусовъ. Температура не вліяетъ замѣтнымъ образомъ на этотъ инструментъ, но слѣдуетъ смотрѣть на его показанія только какъ на приблизительныя...

Градусы гигрометра.	Относительная влажность.	Градусы гигрометра.	Относительная влажность.	Градусы гигрометра.	Относительная влажность.
0	0,000	35	0,177	70	0,472
5	0,023	40	0,208	75	0,538
10	0,046	45	0,241	80	0,612
15	0,070	50	0,274	85	0,696
20	0,094	55	0,318	90	0,791
25	0,120	60	0,363	95	0,891
30	0,148	65	0,414	100	1,000

Высушиваніе на свободномъ воздухѣ происходитъ оттого, что водяной паръ, примѣшанный къ атмосферѣ, находясь при температурѣ высшей его точки насыщенія, въ дѣйствительности есть перегрѣтый и въ этомъ состояніи играетъ роль тѣла, жадно поглощающаго воду, стремясь перейти въ насыщенное состояніе.

Относительная влажность атмосферы никогда не бываетъ нуль и никогда не достигаетъ насыщенія. Она измѣняется (смотря по времени года, часамъ дня, по погодѣ) отъ 0,50 до 0,90. Наименьшая бываетъ обыкновенно между полуднемъ и тремя часами по полудни.

Слѣдовательно сушеніе на свободномъ воздухѣ будетъ неправильное и въ промышленности не употребляется; большею частію примѣняются искусственные способы и почти исключительно высушиваніе посредствомъ теплоты.

Сушеніе теплотою дѣлается обыкновенно такъ, что направляютъ на влажныя вещества токъ нагрѣтаго воздуха; этотъ воздухъ стремится насыщаться и такимъ образомъ извлекаетъ воду въ видѣ пара. Часть теплоты, которая въ немъ содержится, такимъ образомъ исчезнетъ въ видѣ скрытой теплоты и смѣсь выходитъ изъ сушильни при пониженной температурѣ*).

Количество испаряемой воды Q намъ извѣстно, а также и наружная температура t; допустимъ, что воздухъ входитъ насыщенный при этой температурѣ; потомъ онъ нагрѣвается особыми приборами до температуры T, и приводится въ соприкосновеніе съ высушиваемыми веществами, гдѣ его температура понижается по мѣрѣ того, какъ онъ насыщается парами. При выходѣ изъ сушильни, воздухъ будетъ стало быть болѣе или менѣе влажный и при температурѣ $\theta < T$.

Одинъ килограммъ сухаго воздуха при температурѣ t и въ состояніи насыщенія содержитъ вѣсъ p_t пара: при температурѣ Θ, онъ содержитъ его вѣсъ p_θ; если бы воздухъ выходилъ изъ сушильни насыщеннымъ, то каждый килограммъ воздуха, предполагаемаго насыщеннымъ при входѣ, взялъ бы $(p_\theta - p_t)$ воды. Но должно расчитывать только на $\frac{2}{3}(p_\theta - p_t)$ если сушеніе устроено методическое (т. е. если продукты высушиваемые двигаются по обратному направленію съ горячимъ воздухомъ) и $\frac{1}{3}(p_\theta - p_t)$ въ случаѣ, когда нѣтъ циркуляціи или равнозначущаго расположенія.

---

*) Матеріи, которыя слѣдуетъ высушить, развѣшиваются въ длинномъ закрытомъ пространствѣ такъ, чтобы онѣ равномѣрно распредѣлялись по всему его поперечному сѣченію. На одной сторонѣ воздухъ входитъ высокой температуры съ малымъ содержаніемъ воды, протекаетъ помѣщеніе, поглощаетъ воду, содержащуюся въ матеріяхъ, при этомъ охлаждается и покидаетъ помѣщеніе на противоположной его сторонѣ въ насыщенномъ состояніи съ температурою 30 до 40° Ц. Пространство, наполненное воздухомъ, принимаетъ ровно столько же пара, какъ и безвоздушное при той же температурѣ. Чѣмъ выше температура, тѣмъ больше пара можетъ принять воздухъ пока онъ насытится. Нагрѣвающимъ приборомъ можетъ служить каждый калориферъ, употребляемый для отопленія, а также паровой котелъ и проч.; при этомъ должно примѣнять принципъ обратнаго теченія.

Температура t.	На 1 кубич. метръ насыщеннаго воздуха. Вѣсъ въ клгр. P сухаго воздуха.	P' пара.	Теплота въ калоріяхъ. C воздуха.	c пара.	Вѣсъ пара (въ клгр.) въ насыщенномъ воздухѣ на 1 клгр. сухаго воздуха p.
0°	1,2854	0,0049	0,0000	2,9528	0,003 80
1	1,2801	0,0052	0,3043	3,1610	0,004 05
2	1,2748	0,0056	0,6061	3,3820	0,004 38
3	1,2695	0,0060	0,9053	3,6162	0,004 78
4	1,2654	0,0064	1,2032	3,8648	0,005 05
5	1,2589	0,0068	1,4963	4,1290	0,005 40
6	1,2537	0,0072	1,7880	4,4085	0,005 70
7	1,2486	0,0077	2,0776	4,7063	0,006 16
8	1,2431	0,0082	2,3638	5,0195	0,006 60
9	1,2377	0,0088	2,6488	5,3518	0,007 10
10	1,2324	0,0094	2,9293	5,7033	0,007 65
11	1,2270	0,0100	3,2082	6,0750	0,008 15
12	1,2216	0,0106	3,4845	6,4680	0,009 70
13	1,2162	0,0113	3,7581	6,8833	0,009 35
14	1,2107	0,0120	4,0290	7,3214	0,009 95
15	1,2052	0,0127	4,2973	7,7845	0,010 50
16	1,1997	0,0135	4,5627	8,2729	0,011 30
17	1,1941	0,0144	4,8254	8,7898	0,012 10
18	1,1885	0,0152	5,0853	9,3306	0,012 80
19	1,1829	0,0162	5,3423	9,9023	0,013 70
20	1,1772	0,0171	5,5964	10,5046	0,014 50
21	1,1725	0,0182	5,8529	11,149	0,015 50
22	1,1656	0,0193	6,0955	11,806	0,016 56
23	1,1598	0,0204	6,3405	12,507	0,017 60
24	1,1538	0,0216	6,5823	13,245	0,018 65
25	1,1478	0,0228	6,8208	14,020	0,019 85
26	1,1417	0,0241	7,0561	14,834	0,021 20
27	1,1356	0,0255	7,2879	15,690	0,022 48
28	1,1293	0,0270	7,5963	16,587	0,023 88
29	1,1230	0,0285	7,7411	17,53	0,025 37
30	1,1166	0,0301	7,9623	18,517	0,026 94
31	1,1101	0,0317	8,1797	19,553	0,028 59
32	1,1034	0,0335	8,3932	20,638	0,030 35
33	1,0967	0,0353	8,6027	21,775	0,032 26
34	1,0899	0,0372	8,8081	22,965	0,034 16
35	1,0829	0,0393	9,0093	24,246	0,036 28
36	1,0758	0,0413	9,2061	25,515	0,038 40
37	1,0686	0,0435	9,3985	26,879	0,040 71
38	1.0613	0,0458	9,5862	28,304	0,043 15
39	1,0538	0,0482	9,7691	29,795	0,045 72
40	1,0462	0,0507	9,9471	31,351	0,048 44
41	1,0384	0,0533	10,1199	32,977	0,051 31
42	1,0305	0,0560	10,2875	34,674	0,054 33
43	1,0224	0,0588	10,4497	36,446	0,057 54
44	1,0141	0,0618	10,6061	38,294	0,060 90
45	1,0056	0,0648	10,7577	40,221	0,064 48
46	0,9970	0,0681	10,901	42,231	0,068 26
47	0,9882	0,0714	11,040	44,324	0,072 26
48	0,9791	0,0749	11,172	46,506	0,076 45
49	0,9699	0,0785	11,297	48,778	0,080 91
50	0,9604	0,0823	11,415	51,143	0,085 65
51	0,9507	0,0862	11,526	53,605	0,090 66
52	0,9409	0,0902	11,629	56,166	0,095 92
53	0,9307	0,0945	11,725	58,831	0,101 52

Температура t.	На 1 кубич. метръ насыщеннаго воздуха. Вѣсъ въ клгр. P сухого воздуха.	P' пара.	Теплота въ калоріяхъ. C воздуха.	c пара.	Вѣсъ пара (въ клгр.) въ насыщенномъ воздухѣ на 1 клгр сухого воздуха p.
54°	0,9203	0,0989	11,813	61,601	0,107 41
55	0,9997	0,1034	11,893	64 480	0,113 77
56	0,8988	0,1082	11 964	67,472	0,120 34
57	0,8876	0,1131	12,026	70,580	0,127 45
58	0,8761	0,1183	12 079	73,807	0 134 95
59	0,8644	0,1235	12,122	77,157	0 142 87
60	0,8524	0 1291	12 157	80 642	0 151 42
61	0,8400	0,1348	12,179	84 243	0 160 43
62	0,8273	0,1407	12,192	87,985	0 170 05
63	0,8143	0,1468	12,194	91,864	0 180 18
64	0,8010	0,1532	12,185	95 887	0,191 20
65	0,7873	0,1597	12 164	100 055	0,202 84
66	0,7732	0,1666	12,131	104,373	0,21 52
67	0,7588	0,1736	12,085	108 84	0 228 83
68	0,7441	0,1809	12 027	113,48	0 243 40
69	0,7289	0,1885	11 955	118,27	0,258 85
70	0,7133	0,1963	11,869	123 23	0,275 20
71	0,6973	0,2044	11,769	128,37	0 293 55
72	0,6809	0,2127	11,654	133,67	0,312 37
73	0,6641	0,2213	11 524	139 16	0,333 32
74	0,6468	0,2302	11,378	144,84	0 360 00
75	0,6291	0,2395	11,215	150,70	0 380 54
76	0,6109	0,2490	11,036	156,76	0 407 52
77	0,5922	0,2588	10,839	163 03	0,437 06
78	0,5731	0,2689	10,6248	169,49	0,469 26
79	0,5534	0,2794	10,3916	176,17	0 504 80
80	0,5332	0,2901	10,1392	183,06	0,544 22
81	0,5125	0,3013	9,8671	190.17	0,587 83
82	0,4912	0,3128	9 5746	197,96	0 636 54
83	0,4694	0,3246	6,2609	205,08	0,691 60
84	0,4470	0,3368	8,9256	212,88	0 753 36
85	0,4241	0,3493	8,5678	220,93	0,823 11
86	0,4005	0,3623	8,1870	229,23	0,904 57
87	0,3763	0,3756	7,7823	237,78	0,998 11
88	0,3515	0,3894	7,3531	246,59	1.107 50
89	0,3261	0,4035	6,8986	255,67	1,237 40
90	0,3000	0,4180	6.4181	265,02	1,393 94
91	0,2733	0,4330	5 9107	274 65	1.581 80
92	0,2458	0,4484	5,3756	284,56	1,824 11
93	0,2177	0,4643	4,8121	294,76	2,133 06
94	0,1888	0,4806	4,2195	305,26	2.545 15
95	0,1592	0,4974	3,5961	316,06	3,125 00
96	0,1289	0,5146	2,9420	327,18	3,920 00
97	0,0978	0,5323	2 2559	338 61	5,440 70
98	0,0660	0,5505	1,5369	350,37	8,347 20
99	0,0333	0,5693	0 7151	362,45	17,094 00
100	0,0000	0,5884	0 0000	374,82	—

Пусть Q вѣсъ извлекаемой воды въ данное время, напримѣръ въ часъ; вѣсъ сухаго воздуха, вгоняемаго въ сушильню, будетъ $\frac{Q}{\frac{2}{3}(p_\theta - p_t)}$

въ случаѣ методическаго сушенія и вдвое больше въ противномъ случаѣ.

По объему, расходъ воздуходувнаго прибора будетъ $\frac{Q}{p_t}$, такъ какъ p_t вѣсъ сухаго воздуха, содержащагося въ 1 куб. метрѣ насыщеннаго воздуха при наружной температурѣ t.

Полезно знать температуру T воздуха между выходомъ изъ нагрѣвателя и входомъ въ сушильню; она получается изъ уравненія

$$T-\theta=\frac{2}{3}\cdot\frac{(p_\theta-p_t)[606{,}5+0{,}305\,(\theta-t)]}{0{,}2377}$$

откуда

$$T=\theta+\frac{2}{3}\cdot\frac{(p_\theta-p_t)\,[606{,}5+0{,}306\,(\theta-t)]}{0{,}2377}.$$

Въ этомъ вычисленіи допускается, что вода при извлеченіи находилась первоначально при наружной температурѣ t, и пренебрегается, какъ прежде, небольшимъ количествомъ пара, содержащимся въ наружномъ воздухѣ.

Израсходованная теплота, въ калоріяхъ:

$$\left\{\begin{array}{l}\text{Для 1 клгр. воздуха. . . . . } 0{,}2377\,(\theta-t)\\ \text{Для пара, его насыщающаго, при . . } 0{,}475\,p_t\,(\theta-t)\\ \text{Для пара взятаго въ сушильнѣ . . . } \frac{2}{3}(p_\theta-p_t)\,[606{,}5+0{,}305\,(\theta-t)]\end{array}\right\}=K$$

Полный извлеченной воды: $^2/_3(p_\theta-p_t)$.

Второй членъ (паръ взятый при t^0) можно вообще пренебрегать. Пусть K сумма этихъ членовъ; полное количество доставляемой теплоты будетъ $\frac{Q}{^2/_3(p_\theta-p_t)}K$.

Когда знаемъ T, то можно вычислить это количество теплоты по формулѣ: $\frac{Q}{^2/_3(p_\theta-p_t)}\cdot 0{,}2377\,(T-t)$; если желаемъ принять въ расчетъ паръ, содержащійся въ воздухѣ при температурѣ t, то нужно взять выраженіе:

$$\frac{Q\,(T-t)}{^2/_3(p_\theta-p_t)}\,(0{,}2377+0{,}475\,p_t).$$

Вообще нѣтъ выгоды возвышать температуру выхода θ; но б. ч. ограничена величина T, потому что матеріалы, подвергаемые высушиванію, не могутъ переносить безъ порчи извѣстную температуру и потому, что самъ источникъ теплоты не имѣетъ высокой температуры (напримѣръ, когда воздухъ нагрѣвается мятымъ паромъ машины),

Предъидущая таблица даетъ для градусовъ температуры:

1) Вѣсъ P сухаго воздуха, содержащійся въ куб. м. насыщеннаго воздуха:

$P=\frac{1,293\ (0,76-f)}{0,76\ (1+0,00367\ t)}$. Для величинъ f смотри таблицу стр. 512;

2) Вѣсъ P' пара, содержащагося въ 1 куб. м. насыщеннаго воздуха:

$$P'=\frac{1,293.\ 0.622f}{0,\ 76\ (1+0,00367\ t)};$$

(Слѣдовательно одинъ кубическій метръ насыщеннаго воздуха вѣситъ $P+P'$);

3⁰ Теплота C содержащаяся, начиная отъ нуля, въ воздухѣ 1 куб. метра насыщеннаго воздуха:

$$C=P.0,2377\ t:$$

4⁰ Теплота C'' содержащаяся, начиная отъ нуля, въ парѣ 1 куб. метра насыщеннаго воздуха:

$$c=P'\ (606,5+0,305\ t),$$

Теплота содержащаяся въ смѣси будетъ $C+c$;

5⁰ Вѣсъ p пара содержащагося въ насыщенномъ воздухѣ на килограммъ сухаго воздуха.

(О вѣсѣ 1 куб. м. сухаго воздуха смотри таблицу на стр. 509).

Полезное дѣйствіе. Оно равняется отношенію теплоты дѣйствительно употребленной для выпариванія воды къ полному количеству израсходованной теплоты:

$$\frac{\frac{3}{2}(p_\theta-p_t)\ [606,5+0,305\ (\theta-t)]}{0,2377\ (\theta-t)+0,475\,pt\ (\theta-t)+\frac{2}{3}(p_\theta-p_t)\ [606,5+0,305(\theta-t)]}.$$

Примѣръ. Пусть требуется выпарить въ часъ 100 кил. воды, когда внѣшняя температура 15⁰. Пусть $\theta=35^0$ температура выхода, высушиваніе методическое. По таблицѣ имѣемъ:

$$\left.\begin{aligned} p_{35} &= 0,036\ 28 \\ p_{15} &= 0,010\ 50 \end{aligned}\right\} \text{разность } 0,025\ 78$$

откуда $\frac{2}{3}(p_{35}-p_{15})=0,017$ весьма приблизительно.

Слѣдов. вѣсъ сухаго воздуха потребнаго: $\frac{100}{0,017}=5882$ кал.

Такъ какъ вѣсъ сухаго воздуха, содержащагося въ 1 куб. м. насыщенномъ при 15⁰ равенъ 1,205 кал., то нужно въ часъ $\frac{5882}{1,205}=4881$ куб. м.

Такъ какъ внѣшній воздухъ никогда не бываетъ насыщенный, то эта цифра будетъ очень велика.

Вычисленіе T: $T=35+\frac{2}{3}\ \frac{0,026\,(606,5+0,305.20)}{0,2377}=79^0,6.$

Количество потребной теплоты:

Воздуха	0,2377.20	=	4,75 кал
Окружающаго пара	0,475.0,013.20	=	0,12 „
Отнимаемаго пара	$\frac{2}{3}$·0,026.612,6	=	10,62 „
		K =	15,49 кал.

и $\frac{Q}{0,017} K = \frac{100.15,49}{0,017} = 91112$ кал. доставляемыхъ въ часъ.

Полезное дѣйствіе:

$$\frac{0,017.612,6}{4,75+0,12+0,017.612,6} = \frac{10,62}{15,49} = 0,686.$$

Въ дѣйствительности полезное дѣйствіе будетъ нѣсколько менѣе, ибо нужно прибавить къ предъидущимъ количествамъ теплоты еще ту теплоту, которая будетъ необходима для нагрѣванія высушиваемаго вещества отъ t до θ; это количество теплоты должно быть вычислено для каждаго частнаго случая.

Примѣръ 2. Нужно отнять 1 клгр. воды изъ мокрой матеріи. При этомъ начальная температура воды=10°; температура насыщеннаго извлекаемаго воздуха=35; при входѣ въ нагрѣвающій приборъ воздухъ имѣетъ 10° и предполагается насыщеннымъ. Сколько нужно подводить воздуха, если изъ всей теплоты теряется 0,4 и какую температуру онъ долженъ имѣть при входѣ въ сушилку?

Количество воды въ 1 куб. м. насыщеннаго воздуха при 35° . .		=	39,3 грамма.
Количество воды въ 1 куб. м. насыщеннаго воздуха при 10° . .		=	9,4 „
Поэтому 1 куб. м. воздуха можетъ принять воды		=	29,9 „
Количество воздуха для поглощенія 1 клгр. воды . .	1:0,0299	=	33,44 куб. м.
Вѣсъ 1 куб. м. этого воздуха 1,293:(1+0,00367.35)		=	1,146 клгр.
Вѣсъ 33,44 куб. м.	33,44.1,146	=	38,32 клгр.
Этотъ воздухъ при охлажденіи на 1° отдаетъ . . .	0,2377.38,32	=	9,11 калор.
Количество теплоты для превращенія 1 клгр. воды съ 10° въ паръ 35°			
	606,5+0,305.25	=	614,2 „
Потребно теплоты, имѣя въ виду 0,4 потери	$^5/_3$.614,2	=	1024 „
Поэтому воздухъ долженъ охлаждаться на	1024:9,11	=	112 градус.
Температура воздуха при входѣ	35+112	=	147 „

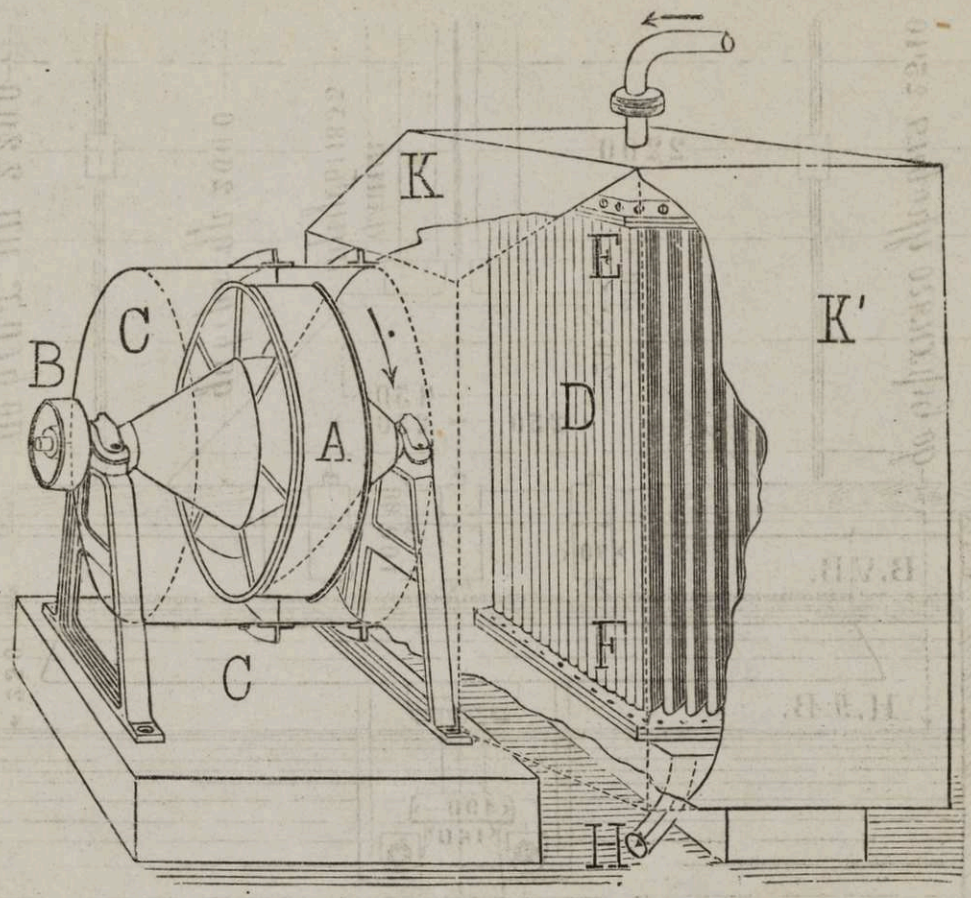
Если все въ часъ нужно испарить напримѣръ 30 клгр. воды, то должно употребить въ 30 разъ больше воздуха и теплоты. При вычисленіи не принято въ соображеніе измѣненіе теплоты, которое испытываютъ 9,4 клгр. воды.

175. Воздушный холодильникъ. Количество теплоты, уносимое мятымъ паромъ въ паровыхъ машинахъ, весьма велико; его можно съ выгодою утилизировать помощію воздушнаго холодильника (Фуше) для нагрѣванія большихъ объемовъ воздуха.

Вентиляторъ A (фиг. 475), приводимый въ движеніе помощію шкива B и заключенный въ кожухъ C, гонитъ воздухъ на группу D вертикальныхъ трубокъ, соединенныхъ внизу и вверху ящиками E и F, изъ коихъ каждый состоитъ изъ трубочнаго листа, привернутаго бойтами къ чугунной коробкѣ. Это и есть собственно холодильникъ, заключенный въ кожухъ KK', который его соединяетъ съ вентиляторомъ. G труба, приводящая паръ; H труба для спуска осѣвшей воды.

Паръ, который наполняетъ двѣ коробки и трубки, имѣетъ 100°, если выходъ пара не стѣсненъ, или меньшую температуру, если происходитъ образованіе пустоты; въ послѣднемъ случаѣ труба H примыкаетъ къ воздушному насосу.

Паръ отдаетъ току воздуха, чрезъ посредство металла трубокъ, свою скрытую теплоту, а такъ какъ удѣльная теплота воздуха есть 0,2375,



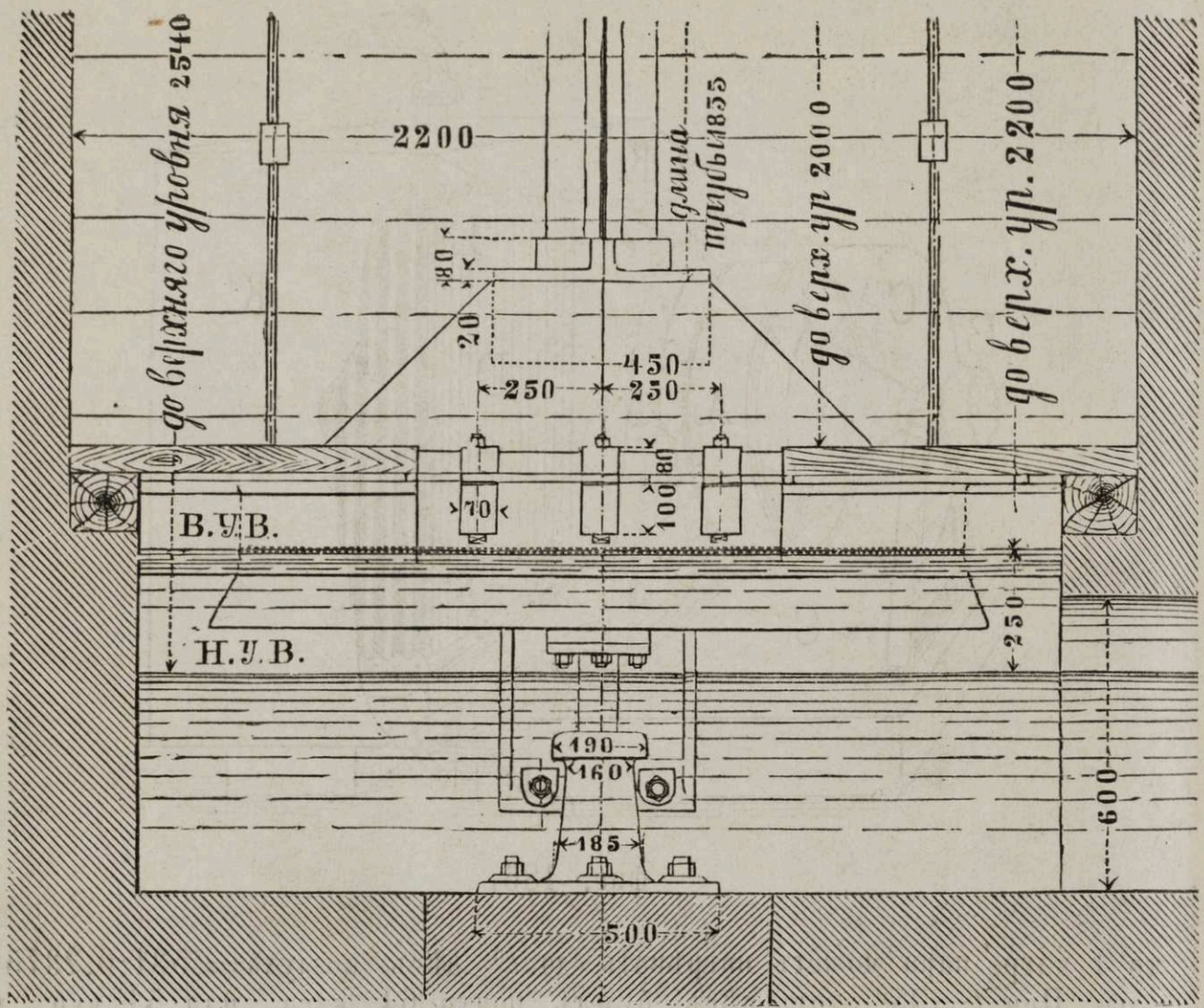
фиг. 486.

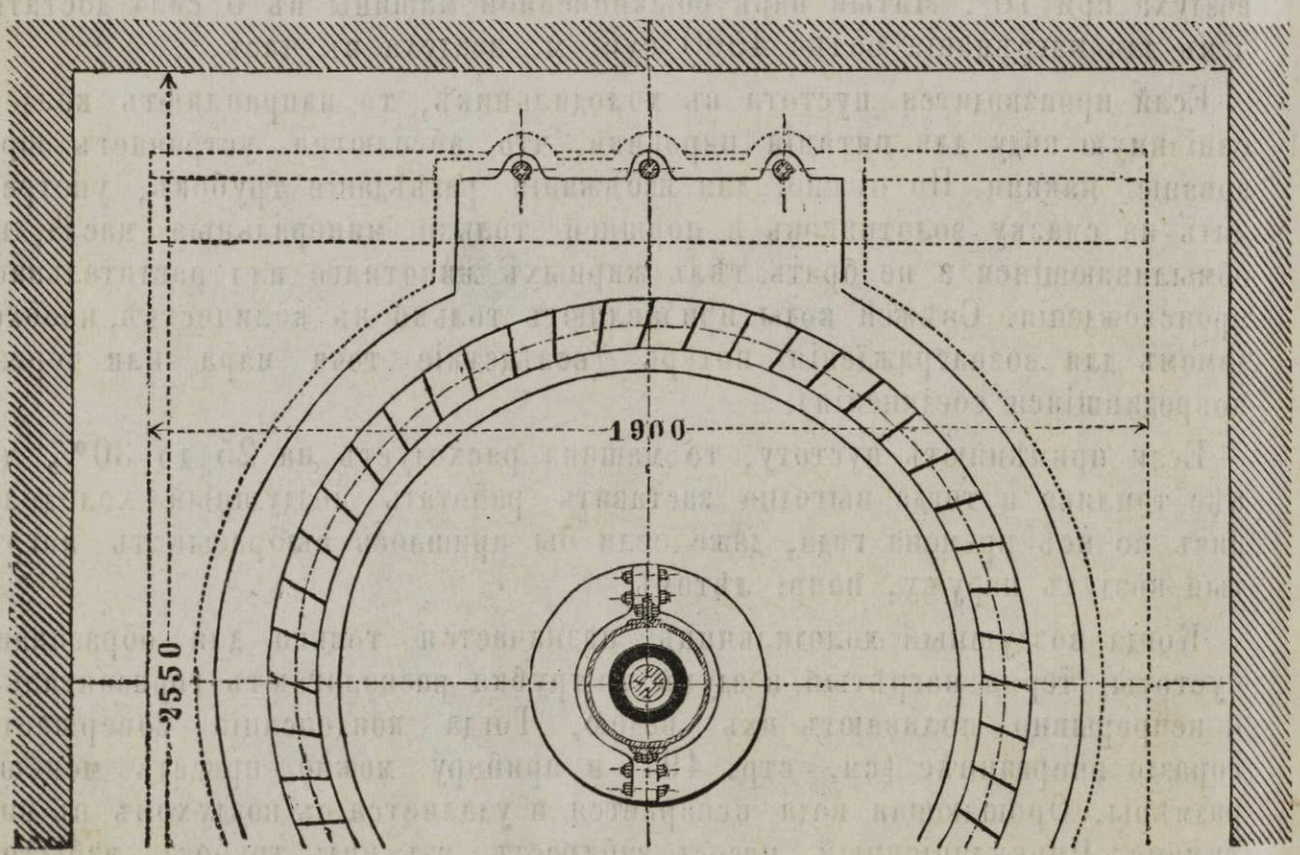
то 1 клгр. пара можетъ нагрѣвать до t^0 вѣсъ воздуха$=(531:0{,}2375t)$ клгр. При $t=35^0$ этотъ вѣсъ будетъ почти 64 клгр. или 51 куб. м. воздуха при 10^0. Мятый паръ обыкновенной машины въ 6 силъ достаточенъ для нагрѣванія болѣе 4500 куб. м. воздуха въ часъ.

Если производится пустота въ холодильникѣ, то направляютъ конденсаціонную воду для питанія паровика, что абсолютно устраняетъ образованіе накипи. Но нужно, для избѣжанія разъѣданія трубокъ, употреблять на смазку золотниковъ и поршней только минеральныя масла, не обмыливающіяся и не брать тѣлъ жирныхъ животнаго или растительнаго происхожденія. Свѣжей воды прибавляютъ только въ количествѣ, необходимомъ для вознагражденія потерь (вслѣдствіе течи пара или черезъ повредившіяся соединенія).

Если примѣняютъ пустоту, то машина расходуетъ на 25 до 30% менѣе топлива и тогда выгодно заставить работать воздушный холодильникъ во всѣ времена года, даже если бы пришлось выбрасывать нагрѣтый воздухъ наружу, напр. лѣтомъ.

Когда воздушный холодильникъ назначается только для образованія пустоты, теряя нагрѣтый воздухъ, то трубки располагаютъ горизонтально и непрерывно поливаютъ ихъ водою. Тогда конденсація совершается гораздо энергичнѣе (см. стр. 494) и прибору можно придать меньшіе размѣры. Орошающая вода испаряется и удаляется съ воздухомъ въ видѣ тумана. Циркуляціонный насосъ забираетъ, изъ подъ трубокъ, избытокъ воды для возобновленія орошенія. Количество воды расходуемой такимъ способомъ будетъ меньше, нежели расходъ въ самой машинѣ, ибо часть теплоты поглащается чрезъ нагрѣваніе воздуха.





Фигуры эти относятся къ III части, отдѣлъ В, стр. 565 (турбины).

A. Отопленіе.

176. Опредѣленіе потребнаго количества теплоты. За нормальную температуру *) въ закрытыхъ помѣщеніяхъ можно принимать: для жилыхъ помѣщеній 15° до 20°; для публичныхъ залъ, школъ 12—15 ; для мастерскихъ 10—12°. По опытамъ Гирна человѣкъ развиваетъ въ часъ 130 калорій. Освѣщеніе производитъ слѣдующее число калорій 1, стеариновыя свѣчи; если n число свѣчей, каждой изъ которыхъ въ часъ потребляется 11 грам., то число калорій будетъ $108n$. 2. Газовыя горѣлки; если въ часъ потребляется 120 литр. газа, то онѣ производятъ 919 калорій.

Теплоемкость воздуха относится къ теплоемкости воды, какъ 0, 237:1. Такъ какъ при этомъ удѣльный вѣсъ воздуха есть 0,0013, то количество тепла, нужное для нагрѣванія 1 куб. м. воздуха на 1° равно 0,3 кал. Разность температуръ внѣшняго и внутренняго воздуха колеблется между —20° и +20°, такъ что для такого повышенія температуры 1 куб. м. воздуха потребно 12,4 калорій.

Количество тепла обозначимъ черезъ W; если обозначить черезъ V количество теплоты, потерянной черезъ стѣны, окна и потолки; черезъ L количество теплоты, нужное для нагрѣванія вентиляціоннаго воздуха, и черезъ K число калорій, теряющееся отъ лучеиспусканія для нагрѣванія тѣлъ въ окружающей средѣ, то $W = V + L - K$.

Сумму потерь теплоты можно опредѣлить по слѣдующимъ даннымъ Мейера (Zeitschrift d. V. deutscher Jngenieure): при 1 градусѣ разности температуры для 1 кв. м. поверхности часовое охлажденіе въ кал. нагрѣтаго пространства равно:

Въ случаѣ стѣнъ толщ. въ 1 к..	1,66 кал.	Обык. комн. двери.	1,30 кал.
„ „ „ „ 1½„.	1,42 „	Одиночныя окна. . .	2,44 „
„ „ „ „ 2 „.	1,12 „	Двойныя окна . . .	1,86 „
„ „ „ „ 2½„.	0,87 „	Холодные потолки. .	0,54 „
„ „ „ „ 3 „.	0,78 „	Холодный полъ. . .	0,39 „
„ „ „ „ 3½„	0,68 „		

эти данныя относятся къ среднимъ условіямъ; въ этомъ случаѣ нужно также принять въ расчетъ среднюю температуру зимы.

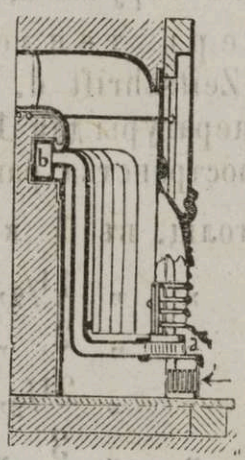
При вычисленіи L нужно основываться на возможно большей разности температуры; на томъ же основаніи, чтобы быть увѣреннымъ въ разсчетѣ, при вычисленіи скорости воздуха, производимой разностью температуръ, нужно принять очень малую разность. Для опредѣленія L нужно задаться наибольшимъ числомъ (N) лицъ, которыя будутъ находиться въ комнатѣ, и для каждаго ввести въ вычисленіе количество воздуха, взятое изъ „таблицы потребнаго количества воздуха“ (ср.

*) Правила и данныя для болѣе точнаго вычисленія можно найти въ книгѣ Редтенбахера „Resultaten“, въ книгѣ „Technologie der Wärme“ и т. д. Ferrini—Schröter, jena, H. Costenoble, 1878 и др.

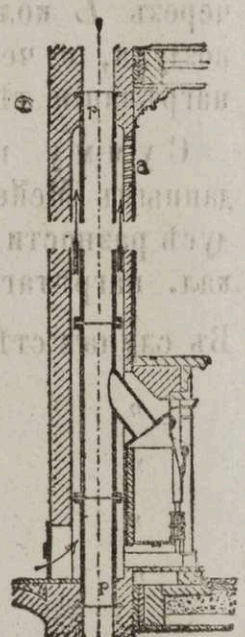
Вентиляція) и разность температуръ въ 40°. 1 куб. м. воздуха вѣситъ 1,3 клгр. и 0,24 есть удѣльная теплота воздуха, слѣдовательно $L=(N.Q.1,30.2.3.40)$ калорій въ часъ; $L=N.Q.12,5$ калорій. K, какъ упомянуто выше для каждаго лица=130 калорій.

177. Мѣстное отопленіе. 1. Отопленіе каминами. Каминъ есть самая простая изъ комнатныхъ печей; старые виды каминовъ состоятъ большею частью изъ большой выемки, сдѣланной въ комнатной стѣнѣ и обезпеченной надлежащимъ образомъ отъ опасности пожара, и снабженной дымовой трубой. Большое удобство каминовъ заключается въ полнѣйшей вентиляціи, которую они производятъ, вслѣдствіе чего въ комнатѣ часто замѣчается очень непріятная тяга. Другой недостатокъ заключается въ маломъ коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія, который по большой мѣрѣ составляетъ 15%; это происходитъ отъ того, что всѣ продукты горѣнія уходятъ въ дымовую трубу такъ быстро, что пользоваться приходится только лучистой теплотой, которая уменьшается однако съ квадратомъ разстоянія. На этихъ основаніяхъ старались улучшить эти печи, очень пригодныя для вентиляціи.

Усовершенствованный каминъ изображенъ на фиг. 487; вмѣсто нагрѣвательной камеры имѣется система изъ 9–10 вертикальныхъ трубъ, начинающихся въ продолговатомъ чугунномъ ящикѣ a, лежащемъ подъ рѣшеткой, и оканчивающихся въ b. Послѣдній запирается переставляемыми розетками, помощью которыхъ регулируется притокъ воздуха. Въ каминѣ выгодно топить топливомъ, дающимъ длинное пламя, слѣдовательно деревомъ. Холодный воздухъ дѣлаетъ путь, указанный стрѣлкой.



фиг. 487.



фиг. 488.

Каминъ Гальтона, изображенный на фиг. 488, устраивается въ комнатахъ, объемъ которыхъ достигаетъ 300 куб. м. и достаточенъ для перемѣны 1200 до 1500 куб. м. воздуха въ часъ. Открытый топливникъ выложенъ шамотными плитами и переходитъ вверхъ въ чугунную дымовую трубу, служащую для нагрѣванія квадратной воздушной камеры. Чугунная труба, отводящая продукты горѣнія, продолжена до пола комнаты и здѣсь сводится въ дымовую трубу. Холодный воздухъ нагрѣвается трубой v и входитъ въ комнату черезъ переставляемый регистръ.

2. Отопленіе печами. Печи даютъ большій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, чѣмъ камины; величина этого коэффиціента, смотря по конструкціи печи, доходитъ до 70—90%.

Величина печи опредѣляется по Редтенбахеру такимъ образомъ: если F поверхность, W количество тепла, нужное для нагрѣванія помѣщенія, то:

$F = \frac{W}{1600}$ для чугунныхъ печей.

$F = \frac{W}{4000}$ для печей изъ кирпича.

$F = \frac{W}{1500}$ для печей изъ листоваго желѣза.

Если площадь дымовой трубы равна F кв. м., то слѣд. брать только

$F = \frac{W - 1500 F_1}{1600}$ для чугунныхъ печей.

$F = \frac{W - 1500 F_1}{4000}$ для печей кирпичныхъ.

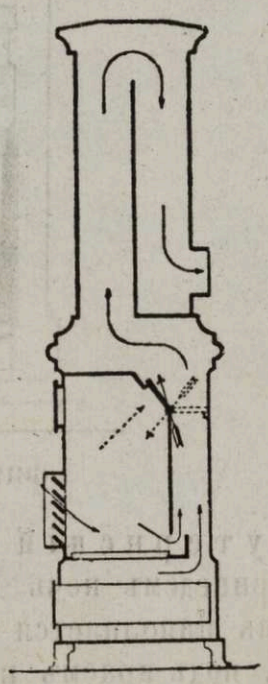
Для приблизительныхъ расчетовъ употребляютъ, слѣдующія величины: 1 кв. м. чугунной печи достаточенъ для нагрѣва 150 куб. м., а въ случаѣ кафельныхъ печей, по Тріэсту, въ 1 до 2 часа нагрѣваютъ:

1 кв. м. 15 до 18 куб. м. комнаты въ одно окно.
1 „ „ 22 до 25 „ „ „ въ два окна.
1 „ „ 31 куб. м. простр. небол. залы.
1 „ „ 46 „ „ „ больш. залы.

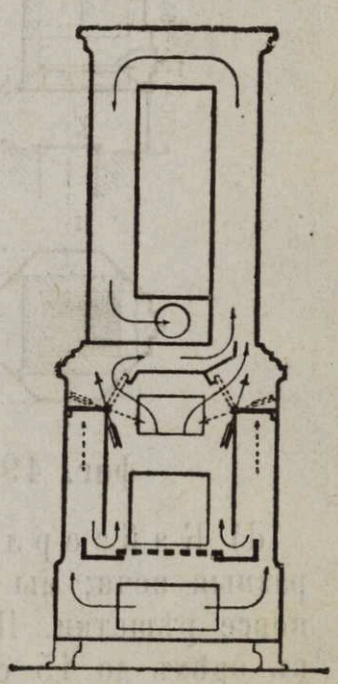
Поверхность (наружная) печи составляетъ: $^1/_7$ поверхность большой комнаты и $^1/_9$—малой.

Печи должны быть приставлены къ массивнымъ стѣнамъ, въ разстояніи отъ нихъ, по крайней мѣрѣ, 10 см.; онѣ должны быть удалены отъ деревянныхъ частей на 0,63 м. и на такомъ же разстояніи, слѣдовательно, отъ наката и потолочныхъ балокъ. Деревянныя стѣны, ближе стоящія, должны быть облицованы кирпичомъ на $^1/_2$ кирпича.

3. Конструкція печей. а) Печь Кульмана представляетъ собою отдѣльную колонну (Füllofen), она особенно замѣчательна своимъ приспособленіемъ для перемѣны тяги. На фиг. 489 эта печь изображена съ тѣмъ положеніемъ клапана, при которомъ тяга идетъ внизъ; отъ этого газы, такъ какъ зольникъ непроницаемъ для воздуха, пройдутъ черезъ раскаленные угли, гдѣ они и сгорятъ. При разводкѣ огня выгодно направленіе тяги вверхъ, потому, что воздухъ не будетъ тогда встрѣчать такого большого сопротивленія. Тогда ставятъ клапанъ въ положеніе, указанное



фиг. 489.

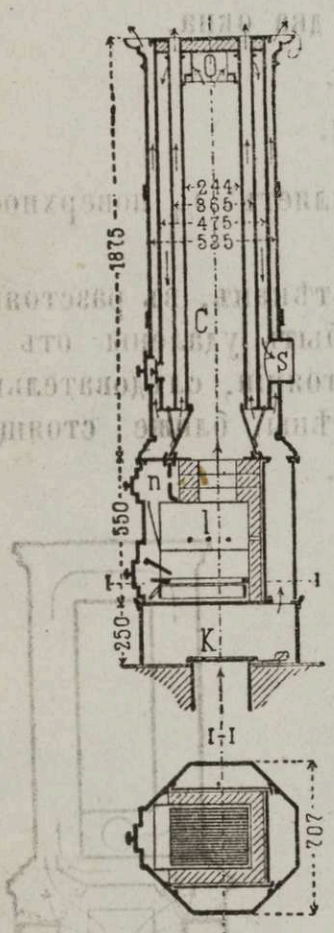


фиг. 490.

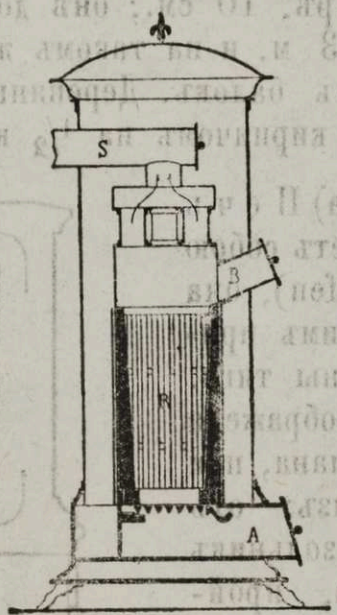
пунктиромъ. Для забрасыванія топлива служитъ клапанъ, находящійся сверху надъ ступеньчатой рѣшеткой. Для топлива, требующаго большаго количества воздуха, служитъ печь, изображенная на фиг. 490, направленіе тяги въ которой означено стрѣлками кверху. При перемѣнѣ тяги и одновременномъ запираніи зольника, воздухъ проходитъ сверху черезъ горючій матеріалъ и заставляетъ газы пройти тотъ же путь, вслѣдствіе чего происходитъ полное сгораніе.

b) Люнебургскій заводъ готовитъ печь Кордеса, представленную на фиг. 491; эта печь снабжена приспособленіемъ для циркуляціи воздуха. Послѣ того, какъ топливо сжигается при доступѣ воздуха черезъ отверстія *l* и *n*, дымъ подымается въ цилиндръ *C*, проходитъ черезъ отверстія *O* внизъ, въ среднее цилиндрическое кольцо и уходитъ черезъ *S* въ дымовую трубу. Притокъ свѣжаго воздуха регулируется клапаномъ *K*; циркуляція воздуха происходитъ въ внѣшнемъ кольцѣ и въ кольцѣ сосѣднемъ съ *C*.

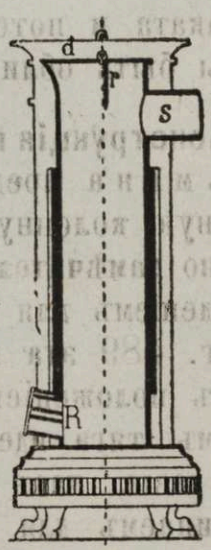
c) Колонная печь Бласицека представляетъ шахтную печь, наполненіе которой производится черезъ цилиндръ *B* (фиг. 492). Топливо попадаетъ въ пространство, образованное вертикально поставленными колосниками, оно ограничено снизу подвижной плоской рѣшеткой. Притокъ воздуха происходитъ черезъ зольникъ *A*, клапаномъ котораго регулированіе можетъ производиться съ точностью, потому что вертикальная рѣшетка плотно замкнута въ чугунномъ цилиндрѣ. Двойной притокъ воздуха имѣетъ цѣлью по возможности вполнѣ сжигать газы и провести еще разъ окись углерода черезъ раскаленный уголь для того, чтобы получить углекислоту, которая отводится черезъ трубу *S*.



фиг. 491.



фиг. 492.



фиг. 493.

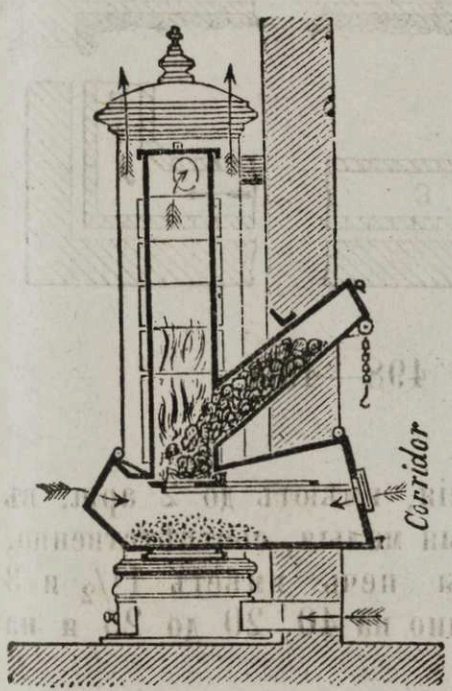
d) Кайзерлаутернскій заводъ готовитъ очень хорошія и разныя печи; мы приведемъ печь Мейдингера (фиг. 493), неимѣющую вовсе рѣшетки. Печь наполняется просто кусками топлива величиною въ орѣхъ до 15 ст. подъ краемъ и разводятъ сверху огонь (сжигаютъ дерево). *d* есть клапанъ для забрасыванія топлива, *r*—ребро, обусловли-

вающее направленіе тяги въ дымовой трубѣ *S*. Топочныя дверцы герметично придѣланы и даютъ возможность точнаго регулированія притока воздуха. Обозначенный въ отверстіи *R* пазъ служитъ для просовыванія кочерги, посредствомъ которой сгребаютъ золу. Чугунный корпусъ, въ которомъ собственно происходитъ сжиганіе топлива, еще разъ окруженъ желѣзной рубашкой, такъ что въ промежуточномъ пространствѣ происходитъ очень оживленная циркуляція воздуха. Этотъ же заводъ дѣлаетъ шахтныя печи Кейфера.

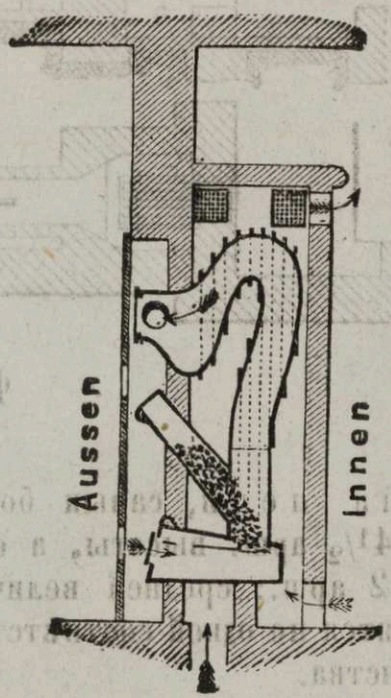
Такая печь для: комнатнаго отопленія съ наружной циркуляціей воздуха изображена на фиг. 494. Забрасываніе топлива производится изъ корридора въ наклоненную внизъ шахту; угли попадаютъ такимъ образомъ на рѣшетку и сжигаются. Воздухъ, необходимый для горѣнія, притекаетъ въ зольникъ изъ корридора черезъ опредѣленное отверстіе и изъ комнаты черезъ отверстіе, закрываемое регулирующимъ клапаномъ. Такъ какъ печь собственно окружена желѣзной рубашкой, то здѣсь происходитъ циркуляція воздуха, причемъ теплый воздухъ поступаетъ въ комнату по направленію стрѣлокъ, а холодный воздухъ вслѣдствіе нарушеннаго равновѣсія занимаетъ его мѣсто.

Шахтная печь, назначенная для отопленія залъ (фиг. 495) сконструирована подобнымъ же образомъ, только остовъ ея, служащій собственно для нагрѣванія, измѣненъ сообразно съ цѣлью и вся печь одѣта въ рубашку. Забрасываніе топлива и регулированіе производится снаружи; воздухъ, поддерживающій горѣніе, и циркулирующій воздухъ проходятъ пути, указанные стрѣлками.

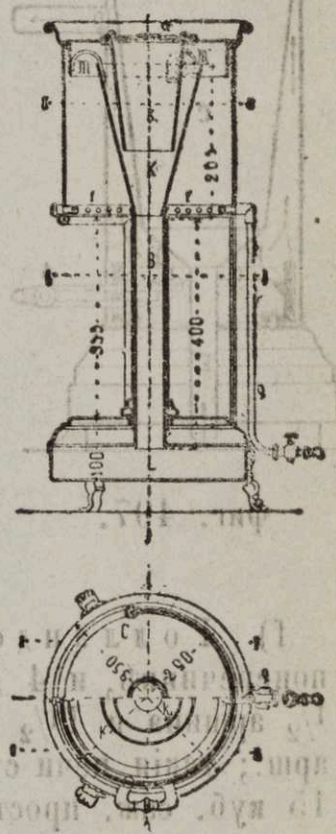
е) Отопленіе свѣтильнымъ газомъ имѣетъ совсѣмъ особыя выгоды, къ которымъ относятся чистота и удобство при зажиганіи.



фиг. 494.



фиг. 495.

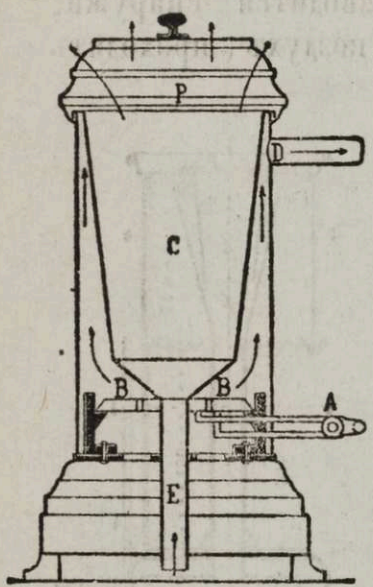


фиг. 496.

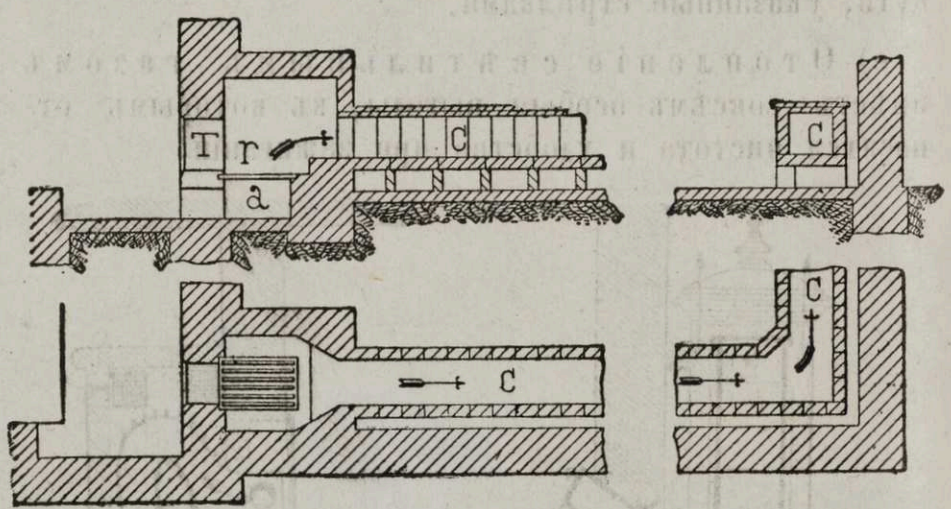
Такая газовая печь, взятая изъ „Publications industrielles“ Armengaud, представлена на фиг. 496; особенность конструкціи заключается въ томъ, что дымовая труба для отвода продуктовъ горѣнія от-

сутствуетъ. Печь состоитъ изъ подставки L, изъ листоваго желѣза, на которой сидитъ цилиндръ c, закрытый на три четверти. Притокъ газа происходитъ черезъ трубку g и сгораніе совершается у отверстій ff. Отъ этого конусъ K нагрѣвается, такъ что холодный воздухъ притекаетъ вверхъ черезъ трубу B и, нагрѣваясь всѣ болѣе и болѣе, вступаетъ въ комнату черезъ конусъ K_1—и розетку d. Такъ какъ газовый вѣюшкъ окруженъ замкнутымъ цилиндромъ изъ листовой стали, то несгорѣвшій газъ и продукты горѣнія не могутъ попадать прямо въ комнату; но въ виду того, что послѣдніе все болѣе и болѣе увеличиваются, то эта печь цѣлесообразна только тогда, когда она имѣетъ отводную трубу для газовъ, или же при крайне сильной вентиляціи.

Другая газовая печь, сдѣланная изъ листоваго желѣза и листовой мѣди изображена на фиг. 497, она была помѣщена на выставкѣ для „отопленія и вентиляціи“ въ Касселѣ 1877 г. Устройство заключается въ томъ, что газъ притекаетъ черезъ газовую трубу и кранъ A и зажигается въ B. Горячіе продукты горѣнія, заключенные въ промежуткѣ между внутреннимъ конусомъ C и внѣшнимъ цилиндромъ, нагрѣваютъ какъ тотъ, такъ и другой и уходятъ въ дымовую трубу D. Печь такимъ образомъ дѣйствуетъ какъ лучистой теплотой, такъ и нагрѣвая воздухъ въ конусѣ C, вслѣдствіе чего холодный воздухъ притекаетъ снаружи или съ пола въ трубу E. Для пропуска воздуха, крышка P имѣетъ отверстія. Эта конструкція удобна тѣмъ, что при открытомъ кранѣ газъ уходитъ въ дымовую трубу.



фиг. 497.



фиг. 498—499.

f) Голландскія печи, самыя большія, имѣютъ до 2 арш. въ поперечникѣ, и 4 до $4^1/_2$ арш. высоты, а самыя малыя, соотвѣтственно, $^1/_2$ аршина и $1^1/_2$ до 2 арш.; средней величины печь имѣетъ $1^1/_2$ и 3 арш.; такія печи ставятся по одной соотвѣтственно на 40, 20 до 25 и на 15 куб. саж. пространства.

Измѣренія частей ихъ слѣдующія: Площадь топки—1 до $1^1/_2$ и до $1^3/_4$ кв. арш., для помѣщенія сразу всей пропорціи дровъ на одну топку; топочныя дверцы—25 до 36 кв. вершк. и шириною менѣе топки; дымовые обороты—смотря по величинѣ печи, съ поперечнымъ сѣченіемъ отъ 12 до 30 кв. вершк. и сложною длиною отъ 12 до 30 арш. причемъ

получается отъ 4 до 8 оборотовъ; дымовая труба—поперечнымъ сѣченіемъ отъ 18 до 36 кв. вершк. Толщина стѣнокъ печи съ лица, при облицовкѣ его изразцами—въ топкѣ $^1/_2$ до $^3/_4$ кирп., въ дымовыхъ оборотахъ—$^1/_4$ или $^1/_2$ кирп., а безъ такой облицовки, соотвѣтственно 1 кирп., и $^3/_4$ или $^1/_2$ кирп. Раздѣлки между дымоходами обыкновен.—$^1/_4$ кирпича. Послѣдній оборотъ печи, въ санитарномъ отношеніи, выгоднѣе устраивать подъ вьюшку.

Печи Утермарка теперь устраиваются по образцу голландскихъ, съ желѣзною только облицовкою, вслѣдствіе чего можно устраивать ихъ съ стѣнками меньшей толщины, при той же прочности.

Улучшенныя голландскія печи отличаются отъ обыкновенныхъ расположеніемъ въ нихъ между дымовыми оборотами воздушныхъ камеръ, сообщенныхъ съ комнатнымъ или наружнымъ воздухомъ. Выгоды послѣднихъ печей весьма гадательны, вслѣдствіе незначительнаго количества свѣжаго воздуха, доставляемаго ими. Въ массивныхъ кирпичныхъ комнатныхъ печахъ выгоднѣе быстрое горѣніе топлива.

Для комнатныхъ печей, приблиз., считается: На каждую куб. саж. внутренней емкости обыкновенныхъ жилыхъ помѣщеній отъ 4 до 5 кв. фут. нагрѣвательной поверхности печи, обращенной въ комнату, т. е. выдѣляющей теплоту и лучеиспусканіемъ, и прикосновеніемъ воздуха; или отъ 8 до 10 кв. фут. поверхностей, находящихся внутри печи, въ воздушныхъ камерахъ, или обращенныхъ къ заднимъ стѣнамъ, т. е. выдѣляющихъ тепло только прикосновеніемъ къ нимъ воздуха.

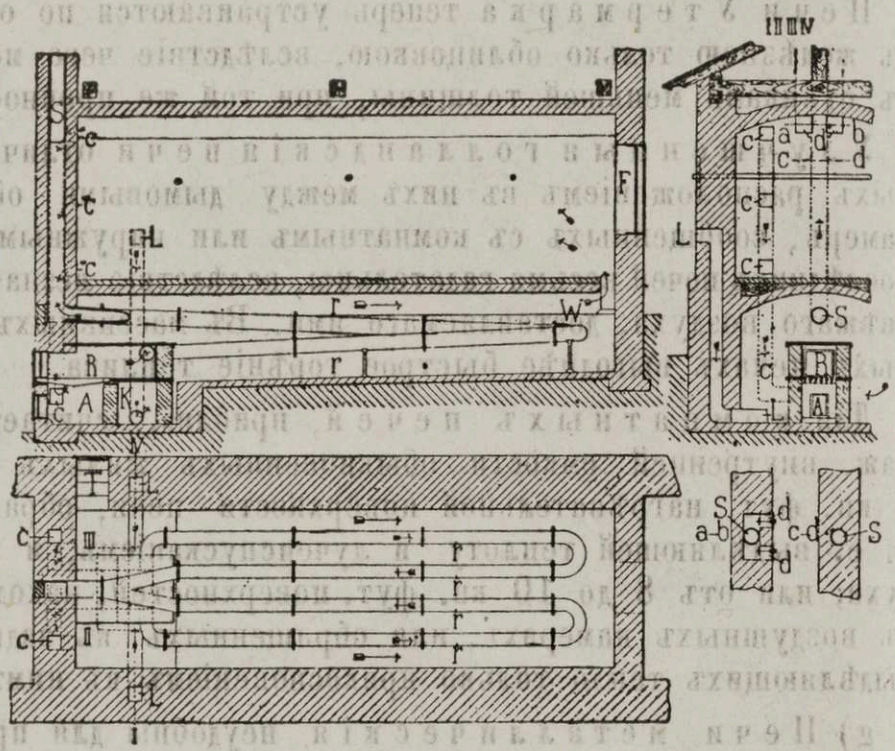
g) Печи металлическія неудобны для примѣненія въ жилыхъ строеніяхъ, вслѣдствіе неравномѣрности поддерживаемой ими температуры, быстраго ихъ накаливанія и такого же остыванія; и вслѣдствіе измѣненія состава воздуха отъ пригоранія органическихъ веществъ, содержащихся въ воздухѣ, на сильно накаленныхъ металлическихъ поверхностяхъ.

Въ улучшенныхъ чугунныхъ печахъ Генри, или батарейныхъ, поверхности ихъ, для отвращенія раскаленія и пониженія температуры прибора, дѣлаются съ приливными ребрами или съ одной наружной, или также и съ внутренней стороны.

По Войницкому, передается въ часъ, на 1^0 Ц. разности температуръ, на 1 кв. футѣ нагрѣвной поверхности плиты: гладкой съ обѣихъ сторонъ, и толщиною въ $^1/_2$ дм.—1 ед. т., съ наружными ребрами—1,12 ед. т. и съ двойными ребрами, т. е. съ обѣихъ сторонъ плиты—2 ед. т.

178. Центральное отопленіе. 1) Воздушное отопленіе каналами или дымовыми ходами. Отопленіе каналами или дымовыми ходами, употребляемое для нагрѣванія оранжерей, сушиленъ и т. д. производится при помощи печи (фиг. 498—499), рѣшетка которой находится подъ поломъ на разстояніи около 1 метра. *T*—топочныя дверцы, *a*—зольникъ; нагрѣвающіе газы обводятся по отапливаемому помѣщенію посредствомъ канала *C* на надлежащей длинѣ; ходы получаютъ по направленію къ дымовой трубѣ подъемъ (вверхъ) въ 1:50. Высота дымовой трубы составляетъ около $^1/_3$ длины дымовыхъ ходовъ. Каналы, сложенные изъ кирпичей, сохраняютъ величину послѣднихъ; чтобы воздухъ могъ притекать со всѣхъ сторонъ, каналы кладутъ изъ поставленныхъ на ребро

кирпичей и покрываютъ ихъ плитами съ пробитыми отверстіями. Гончарныя или желѣзныя трубы имѣютъ въ діаметрѣ по крайней мѣрѣ 20 сантиметр.; при площади сѣченія въ 0,07 кв .м. длина каналовъ 30 до 38 м. Топливникъ имѣетъ въ длину обыкновенно 0,8 до 0,9 м. и въ ширину 0,5 до 0,6 м.; каналы перекрываются или сводомъ, толщина котораго $^1/_2$ кирпича или чугунной дырчатой плитой. Примѣръ такого устройства представленъ на фиг. 500—504; проэктъ этотъ взятъ изъ „Zeitschrift des bair. Arch. und Ing. Vereins“ и составленъ для дровяной сушильни. Угли сжигаются на рѣшеткѣ *R*; газы идутъ тогда черезъ чугунныя трубы *rr* и уходятъ въ дымовую трубу *S*. Ходы перекрыты сводомъ и такимъ образомъ нагрѣваютъ окружающій ихъ воздухъ, поступающій при *W* въ сушильную камеру; въ послѣднюю дерево вносится черезъ дверь *F*.—На сторонѣ, противоположной выходу теплаго воздуха, въ каналахъ сдѣланы отверстія *C*, черезъ которые воздухъ, охлажденный въ сушильной камерѣ, но все еще теплый, удаляется, подводится снова черезъ зольникъ *A* къ огню и такимъ образомъ потребляется очень экономично. Смѣняющійся черезъ огневые каналы и также черезъ отверстія *d* воздухъ вступаетъ черезъ каналъ *L* въ камеру *L* подъ продолженіе топливника, т. е. выходитъ въ самомъ тепломъ мѣстѣ и затѣмъ обходитъ уже извѣстный путь въ сушильную камеру; *T* означаетъ дверцы для чистки.



фиг. 500—504.

2) Воздушное отопленіе калориферами. Въ особыхъ камерахъ подъ отапливаемыми помѣщеніями, слѣдовательно большею частью въ подвальныхъ этажахъ, ставится печь, которая служитъ для нагрѣванія холоднаго воздуха; нагрѣтый же воздухъ проводится въ комнаты.

Калориферы составляются изъ топливника или печи и находящагося надъ нимъ помѣщенія, тк. называемой распредѣлительной камеры, отъ которой отвѣтвляются воздухопроводные каналы.

Распредѣлительная камера должна быть очень просторна и ее хорошо дѣлить стѣнками на столько отдѣленій, сколько имѣется этажей, для того чтобы тяга въ каналахъ, идущихъ вверхъ, не мѣшала бы нижней тягѣ. Такъ какъ эти аппараты разсчитываются на самыя невыгодныя условія, то въ менѣе холодные дни комнаты будутъ очень сильно отапливаться. Чтобы избѣгнуть этого неудобства, можно меньше

топить, вслѣдствіе чего будетъ достигаться экономичное, но не особенно хорошее и быстрое регулированіе; въ такомъ случаѣ можно уменьшить притекающій объемъ воздуха и это имѣетъ мѣсто при очень перемѣнномъ расходѣ тепла и быстрыхъ перемѣнахъ температуры. Чтобы въ этомъ случаѣ не ухудшалась вентиляція или, чтобы не попадалъ обратно въ комнаты испорченный воздухъ и вступалъ черезъ щели холодный, располагаютъ, по предложенію Морена, между воздухомъ, выходящимъ изъ калорифера, и атмосфернымъ к а м е р у, въ которой смѣшиваются теплый и холодный воздухъ до надлежащей температуры, отсюда уже воздухъ вступаетъ въ комнаты.

К а н а л ы различаются:

a) К а н а л ы, п р и в о д я щ і е въ отапливаемыя комнаты нагрѣтый в о з д у х ъ; они имѣютъ по крайней мѣрѣ 0,05 кв. м. въ поперечномъ сѣченіи, а въ высшей мѣрѣ 0,08 кв. м. Для обыкновенныхъ комнатъ считаютъ поперечное сѣченіе каналовъ 0,05 кв. м.; для большихъ 0,07 кв. м.

b) К а н а л ы, приводящіе х о л о д н ы й в о з д у х ъ в ъ к а м е р у; эти имѣютъ въ $^1/_3$ до $^1/_4$ больше поперечное сѣченіе, чѣмъ первые въ случаѣ ц и р к у л я ц і и, т. е. въ случаѣ обратнаго притеканія воздуха въ нагрѣвную камеру. Если воздухъ для нагрѣвной камеры берется изъ внѣшней атмосферы, то поперечное сѣченіе равно только $^3/_4$ суммы или всей суммѣ сѣченій каналовъ, проводящихъ теплый воздухъ. Въ такомъ случаѣ существуютъ еще:

c) К а н а л ы д л я о т в о д а и с п о р ч е н н а г о в о з д у х а, поперечное сѣченіе которыхъ равно $^1/_4 - ^1/_3$ сѣченія каналовъ, проводящихъ теплый воздухъ. Данныя здѣсь величины приблизительны и относятся къ обыкновеннымъ случаямъ. Вообще нужно сказать: величина поперечнаго сѣченія (внутренняго) каналовъ для теплаго воздуха должна быть такова, чтобы воздухъ вступалъ въ комнаты съ температурой не большей 40 до 50°. Для этого Рейнгардтъ въ Вюрцбургѣ приводитъ слѣдующее вычисленіе:

Имѣются, положимъ, 5 комнатъ, объемъ которыхъ a, b, c, d..., въ которыхъ отверстія для прохода теплаго воздуха имѣютъ поперечныя сѣченія a_1, b_1, c_1, d_1... И найденныя температуры суть: α, β. γ, δ...; тогда общее среднее повышеніе температуры $D = \frac{a\alpha + b\beta + c\gamma + \ldots}{a + b + c + d + \ldots}$; для тѣхъ комнатъ, гдѣ повышеніе въ часъ больше чѣмъ D, должно имѣть мѣсто соотвѣтственное съуженіе каналовъ, такъ что дѣйствительныя поперечныя сѣченія будутъ $x_1 = \frac{D}{\alpha} a_1$; $x_2 = \frac{D}{\beta} b_1$ и т. д. Для комнатъ, въ которыхъ температура была значительно выше чѣмъ D, должно произойти и значительно большее съуженіе. Если имѣются 5 этажей, расположенныхъ одинъ надъ другимъ, то скорости въ нагрѣвныхъ каналахъ относятся между собой, какъ 1:1,5:2,0:2,3:2,5. Слѣдовательно поперечныя сѣченія для I: $= \frac{\text{I}}{1,0}$; для II: $= \frac{\text{II}}{1,5}$; для III: $= \frac{\text{III}}{2,0}$; для IV: $= \frac{\text{IV}}{2,3}$ для V: $= \frac{\text{V}}{2,5}$. С у м м а п о п е р е ч н ы х ъ с ѣ ч е н і й, т. е. поперечн-

ное сѣченіе восходящаго канала равна этой суммѣ, слѣд. $Q=3.I$.

При такомъ устройствѣ воздухъ можно проводить на длинѣ 10 до 15 м. Каналы получаютъ подъемъ въ 1 до 2%. Скорость воздуха въ каналахъ можетъ равняться 2 до 3 м.; но скорость при входѣ въ отапливаемую комнату равна только 1 метру.

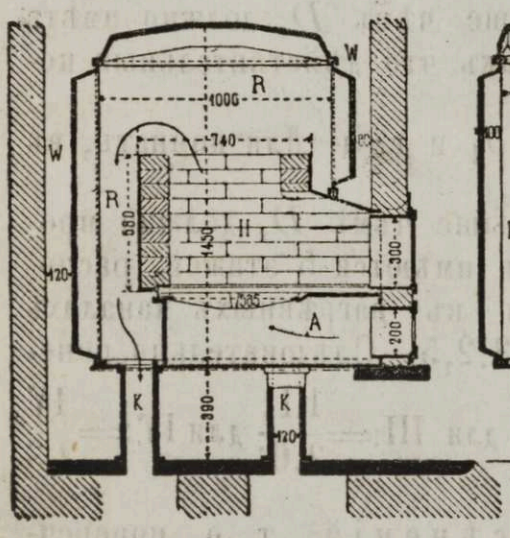
Нужно наблюдать, далѣе, за тѣмъ, чтобы входящій воздухъ былъ чистъ и не приходилъ въ соприкосновеніе ни съ грунтовой водой ни съ дурнымъ почвеннымъ воздухомъ или съ сгнившими веществами и т. п.

Нагрѣвная камера устроена такимъ образомъ, что между печью и окружающими ее стѣнами находится слой воздуха въ 0,3 до 1,5 м., послѣднія должны быть выложены, гдѣ только можно, двойными съ находящимся между ними слоемъ воздуха; наружная стѣна не толще $^1/_2$ кирпича.

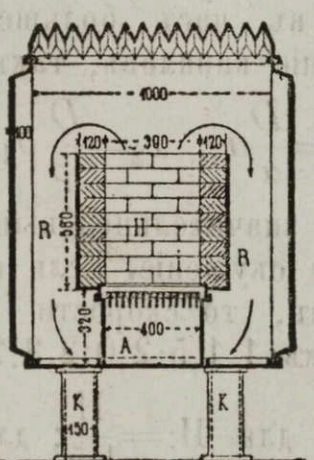
Печь или калориферъ имѣетъ на каждые 100 куб. м. комнатнаго пространства 2 кв. м. нагрѣвной поверхности при умѣренной вентиляціи и ежедневномъ отапливаніи; для другихъ случаевъ вычисляютъ количество необходимыхъ калорій и принимаютъ для каждыхъ 100 калорій 0,05 кв. м. нагрѣвной поверхности; для меньшихъ аппаратовъ 1 кв. см. площади рѣшетки соотвѣтствуетъ 1 кв. м. нагрѣвной поверхности; для большихъ аппаратовъ это отношеніе равно 1 : 150 Площадь рѣшетки имѣетъ 200 до 300кв. см. для 1 клгр. сжигаемаго въ часъ топлива. Расположеніе частей обыкновенно таково, что воздухъ находится снаружи, а дымъ уходитъ въ трубы; воздухъ и нагрѣвные газы дѣлаютъ обратный путь. При влажности воздуха, меньшій 40%, воздухъ считается очень сухимъ, тогда приходится превращать въ паръ воду и считаютъ на 200 куб. м. воздуха 3 литра воды.

При конструкціи каллориферовъ нужно обратить вниманіе на то, что они должны быть вычищаемы извнѣ воздушнаго пространства; если очищеніе дѣлается извнутри воздушнаго пространства, нагрѣвающаго жилыя комнаты, то извлекается сажа и воздухъ портится.

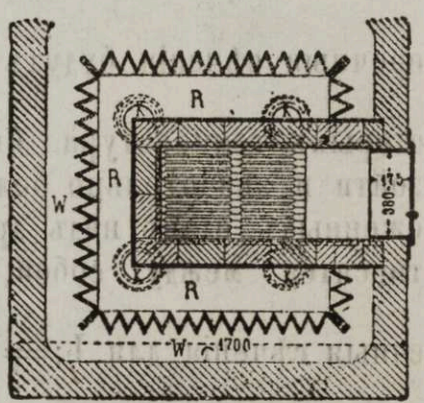
3) Конструкція каллориферовъ. Какъ матеріаломъ пользуются какъ чугуномъ, такъ и обожженной глиной. Калориферъ изъ чугуна, конструкціи Куна, въ Цюрихѣ, указана на фиг. 505—507;



фиг. 505.

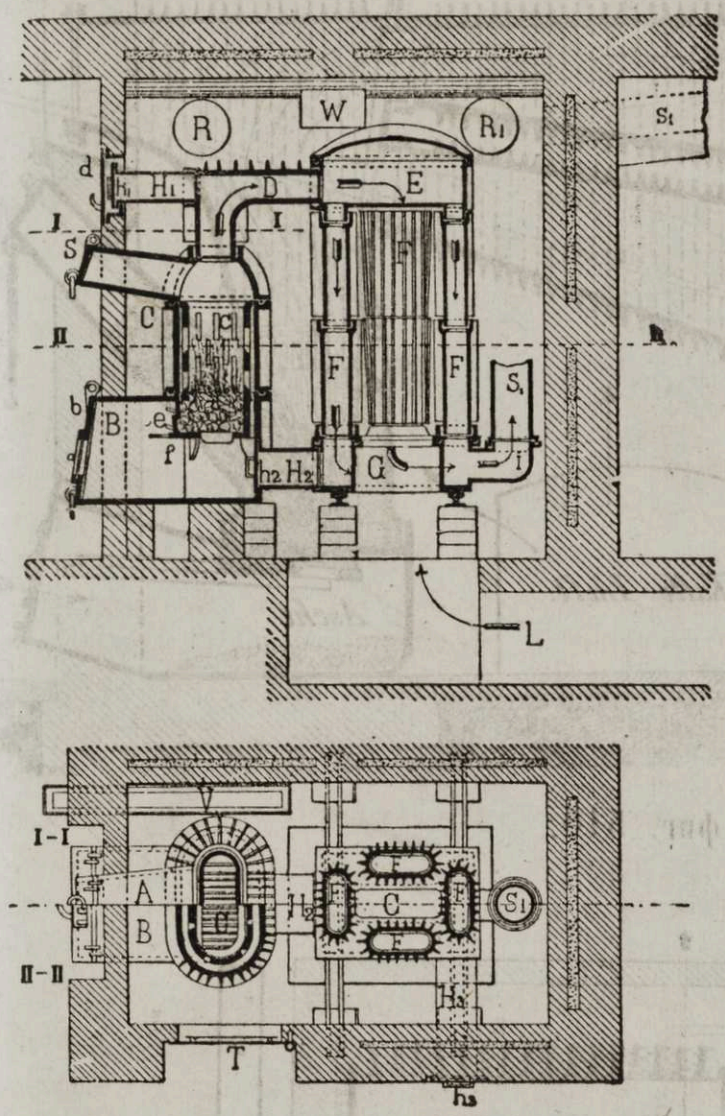


фиг. 506.



фиг. 507.

онъ помѣщенъ въ камерѣ W, въ которую вводится холодный воздухъ. Сжиганіе топлива производится въ пространствѣ H и дымъ уходитъ въ служащія опорами трубы K, чтобы потомъ вступить въ одинъ общій каналъ. Печь собственно составляетъ сама по себѣ замкнутое цѣлое; воздухъ для горѣнія притекаетъ черезъ зольникъ. Выложенныя шамотными плитками стѣнки печи дѣлаютъ невозможнымъ накаленіе ящика H; многочисленныя ребра обусловливаютъ нагрѣваніе черезъ лучеиспусканіе.



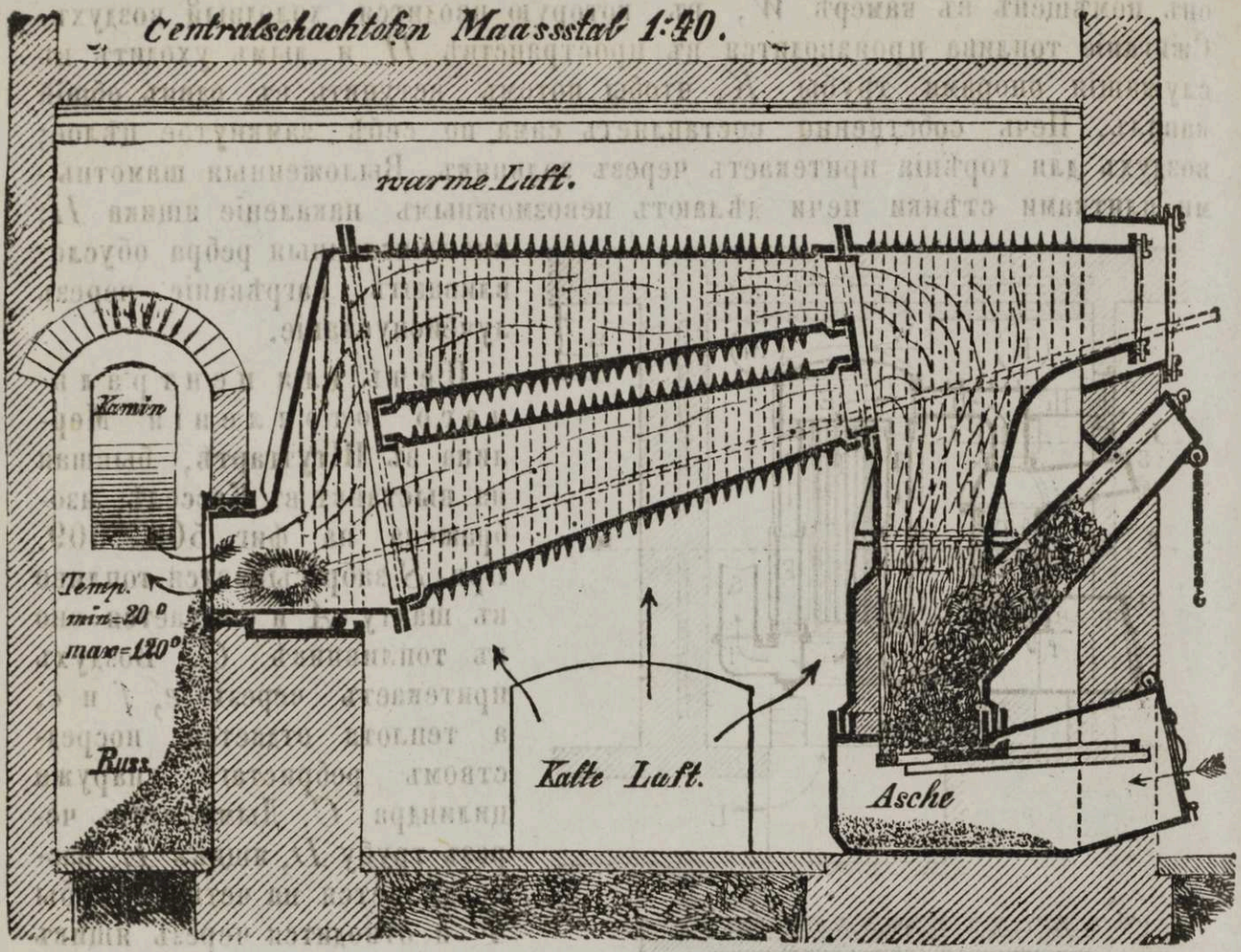
фиг. 508—509.

Печь для центральнаго отопленія Мерлина въ Штутгартѣ, бывшая на выставкѣ въ Касселѣ, изображена на фиг. 508—509. При S забрасывается топливо въ шахту A и сжигается оно въ топливникѣ C. Воздухъ притекаетъ черезъ e, f и c, а теплота отдается посредствомъ ребристаго снаружи цилиндра C. Дымъ идетъ черезъ трубу D, ящикъ E, распредѣляется на четыре трубы F и отводится черезъ ящикъ G въ каминную трубу S_1. Холодный воздухъ вступаетъ въ L; трубы же W, R и R_1 проводятъ теплый воздухъ. Буквой V означенъ сосудъ для испаренія воды, а отверстія H служатъ для очистки. Удаленіе золы производится черезъ дверцы B.

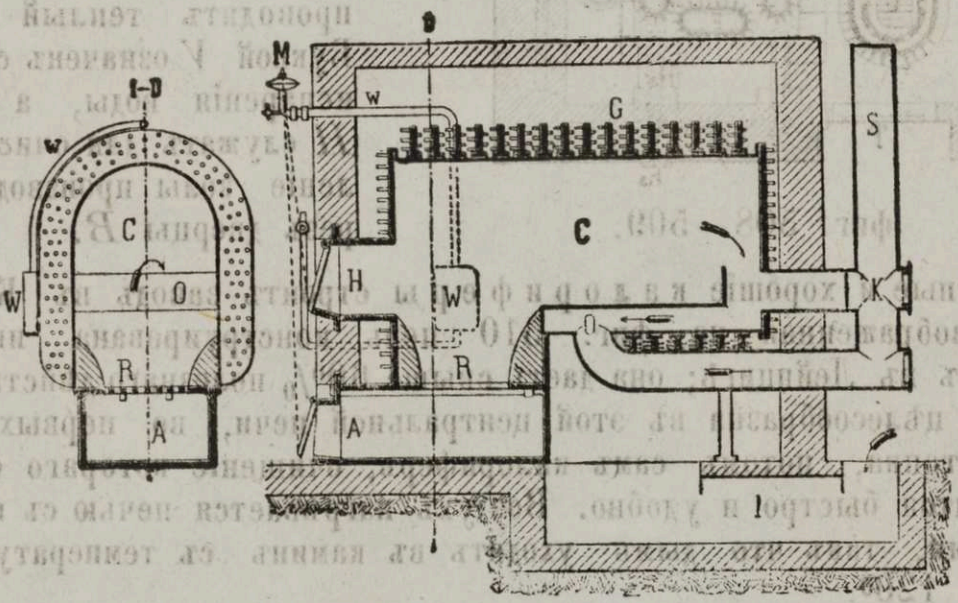
Извѣстные и хорошіе калориферы строитъ заводъ въ Кайзерлаутернѣ; изображенная на фиг. 510 печь конструирована инженеромъ Кейферомъ въ Лейпцигѣ; она даетъ свыше 60% полезнаго дѣйствія углей. Особенно цѣлесообразна въ этой центральной печи, во первыхъ непрерывная топка, потомъ самъ калориферъ, очищеніе котораго отъ сажи производится быстро и удобно. Воздухъ нагрѣвается печью съ приливными ребрами, такъ что дымъ уходитъ въ каминъ съ температурой между 20° и 120°.

Эти печи удобны для сушиленъ, если онѣ построены безъ надобности въ выпариваніи воды; онѣ строятся съ нагрѣвной поверхностью въ 7,5—45 дм., достаточной для нагрѣванія 300—1400 свт. комнатнаго пространства.

Калориферъ Гольда, фиг. 511—512; заимствовано изъ отчета Штромайера о Филадельфійской всемірной выставкѣ. Устройство зольника A и рѣшетки R легко усматривается изъ рисунка; клапанъ k при поддуваніи огня можетъ быть открытъ или закрытъ, въ послѣднемъ слу-



фиг. 510.

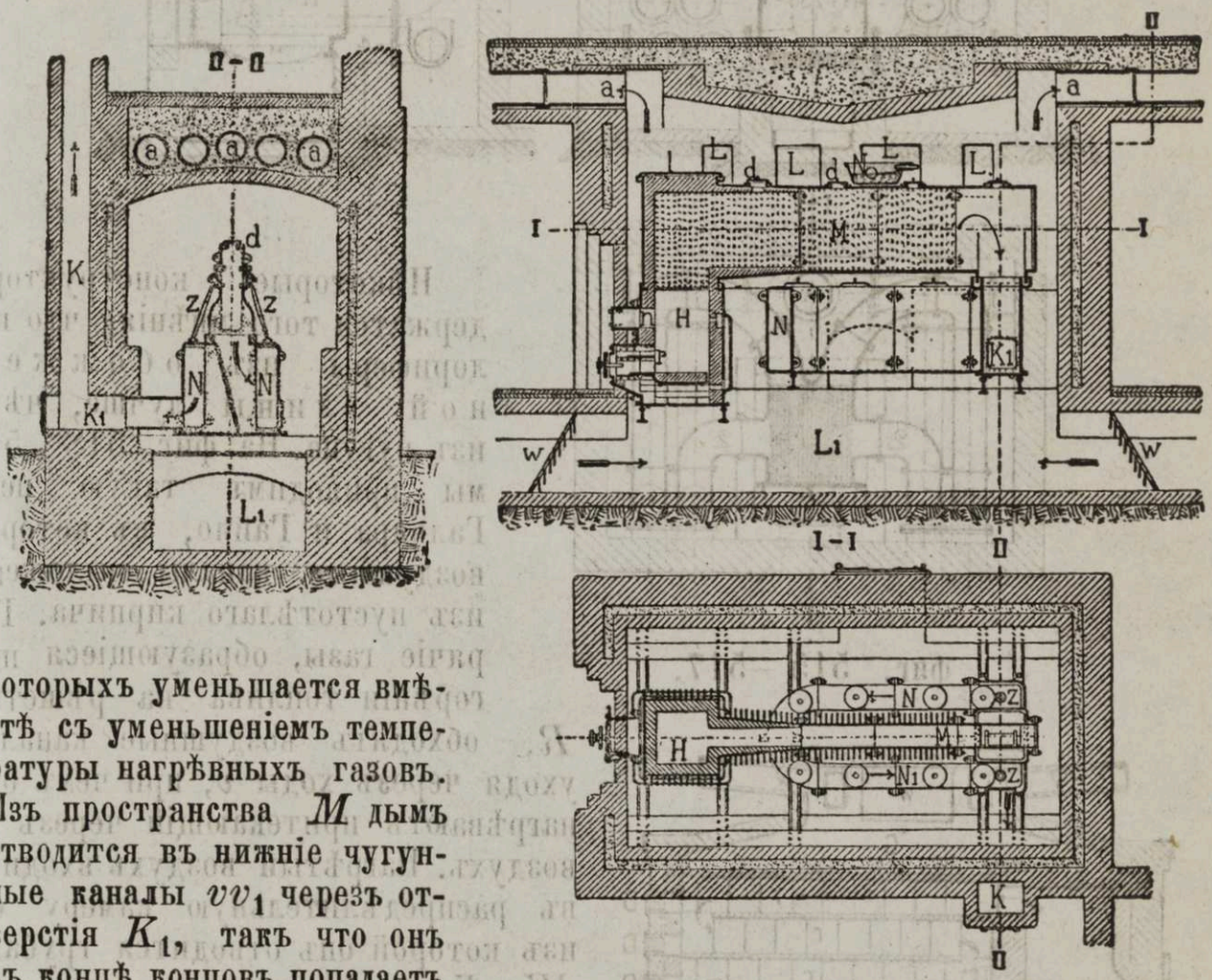


фиг. 511—512.

чаѣ дымъ долженъ будетъ сдѣлать болѣе длинный путь, чтобы пройти въ дымовую трубу *S*. Воздухъ притекаетъ черезъ каналъ *L* и нагрѣвается о многочисленныя ребра *Q*. Буквой *W* означенъ закрытый сосудъ съ водой, сообщающійся трубкой *v* съ манометромъ *M*; при увеличивающейся температурѣ происходитъ удлиненіе, вслѣдствіе чего посредствомъ особой рычажной передачи топочныя дверцы *H* открываются, а дверцы

зольника A закрываются; такимъ образомъ получаютъ автоматическое регулированіе горѣнія.

Калориферъ Фишера и Штиля въ Ессенѣ имѣетъ печь, подобную колонной, какъ видно изъ фигуръ 513 — 514; забрасываніе топлива производится черезъ n, а v есть вентиль для регулированія горѣнія. Все топочное пространство выложено шамотными плитками, масса



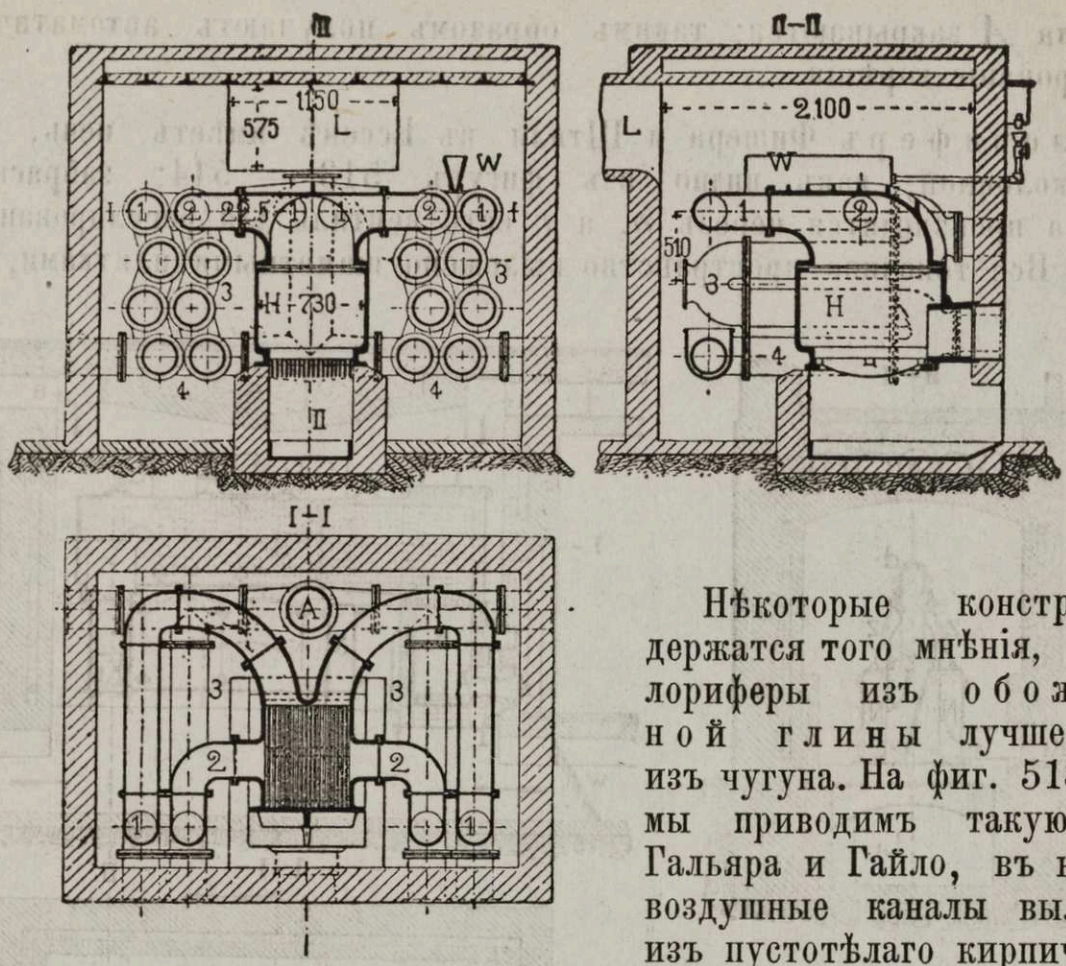
фиг. 513—514.

которыхъ уменьшается вмѣстѣ съ уменьшеніемъ температуры нагрѣвныхъ газовъ. Изъ пространства M дымъ отводится въ нижніе чугунные каналы vv_1 черезъ отверстія K_1, такъ что онъ въ концѣ концовъ попадаетъ въ каминъ K.

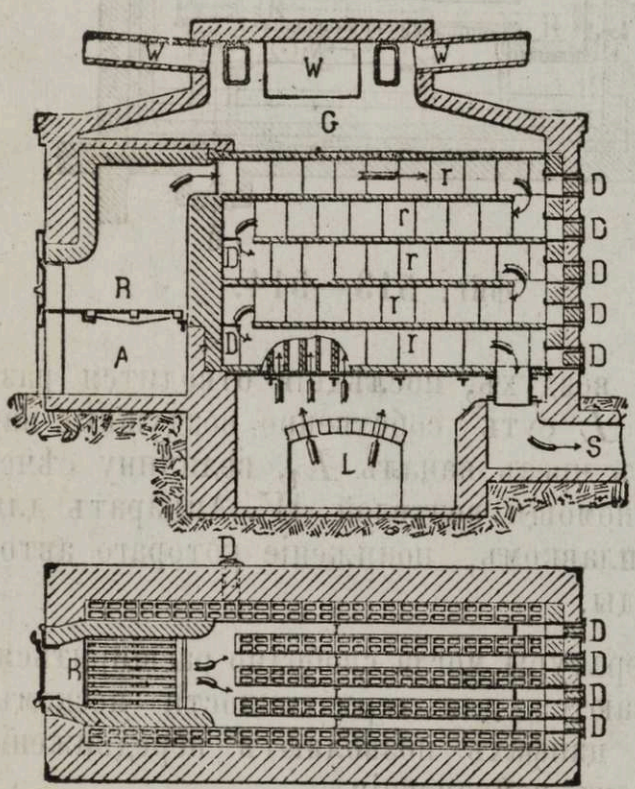
Изъ камеры, содержащей теплый воздухъ, послѣдній отводится различными гончарными трубами a, а L суть собственно воздушные каналы. Холодный воздухъ притекаетъ чрезъ каналъ L_1, величину сѣченія котораго можно измѣнить при помощи вентелей W. Аппаратъ для выпариванія воды N снабженъ поплавкомъ, пониженіе котораго автоматически регулируетъ притокъ воды.

Чтобы печь при измѣненіяхъ температуры могла свободно расширяться, всѣ горизонтальные швы задѣлываются для герметичности пескомъ, обѣ опоры, стоящія на круглыхъ цапфахъ позволяютъ передвиженіе желѣзныхъ частей въ горизонтальномъ направленіи.

Калориферъ Рейнгардта изъ Вюрцбурга отличается отъ предъидущаго тѣмъ, что въ немъ дымовые ходы составлены изъ трубъ (фиг. 515—517). Образующіеся на рѣшеткѣ H газы уходятъ черезъ трубы 1 и 2, 3 и 4, нагрѣвая ихъ и слѣдовательно также окружающій ихъ воздухъ. A—отводный каналъ, L—каналъ для теплаго воздуха. Для выпариванія воды имѣется аппаратъ W, питаемый снаружи.



фиг. 515—517.



фиг. 518—519.

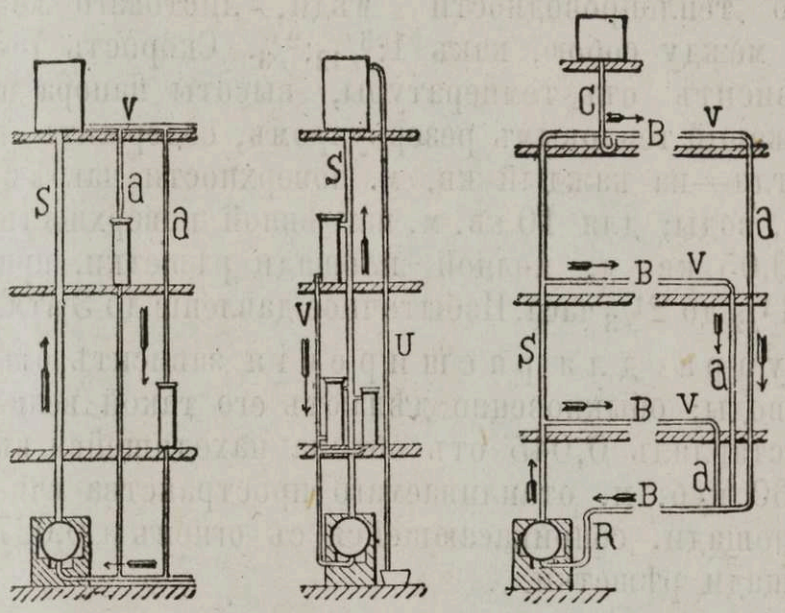
Нѣкоторые конструкторы держатся того мнѣнія, что калориферы изъ обожженной глины лучше, чѣмъ изъ чугуна. На фиг. 518 - 519 мы приводимъ такую печь Гальяра и Гайло, въ которой воздушные каналы выложены изъ пустотѣлаго кирпича. Горячіе газы, образующіеся при горѣніи топлива на рѣшеткѣ R, обходятъ воздушные каналы, уходя черезъ ходы v, при чемъ они нагрѣваютъ притекающій черезъ L воздухъ. Нагрѣтый воздухъ входитъ въ распредѣлительную камеру G, изъ которой онъ отводится трубами W. Удобная очистка предусмотрена устройствомъ дверецъ D, сажу можно удалить, не сообщая ее вовсе съ теплымъ воздухомъ.

4) Водяное отопленіе. Для водянаго отопленія пользуются циркуляціей нагрѣтой воды въ замкнутой системѣ трубъ. Смотря по температурѣ, до которой нагрѣли воду, различаютъ отопленіе теплой водой и отопленіе горячей водой; въ первомъ случаѣ вода нагрѣвается до 100° и меньше, во второмъ случаѣ до 125°—160°.

При отопленіи низкаго давленія вода, нагрѣтая до 87°—94°, вступаетъ въ печь съ температурой въ 80°; при отопленіи высокаго давленія воду нагрѣваютъ до 100°.

а) Отопленіе теплой водой. Всякое устройство для такого

отопленія состоитъ изъ: котла, обыкновенно котла съ пламенными трубками, восходящей и нисходящей трубы и резервуара для расширенія воды. Общее расположеніе частей можетъ быть сдѣлано различными способами. — Какъ указано на фиг. 520, отъ котла, помѣщеннаго въ подвалѣ, можетъ итти восходящая труба въ резервуаръ для расширенія и отъ распредѣлительной трубы *v* могутъ итти нисходящія трубы *a* къ каждой группѣ печей (нагрѣвателей). Въ этомъ случаѣ вода циркулируетъ и общая отводная труба ведетъ ее обратно въ котелъ. Можно также выбрать расположеніе, изображенное на фиг. 521, въ которомъ для каждой группы печей имѣется восходящая труба *S* и отводная—*v*; къ печамъ отвѣтвляются маленькія трубки. Кромѣ того необходима еще труба *U* для отвода лишней воды.



фиг. 520—522.

Послѣдній способъ расположенія изображенъ на фиг. 522; она служитъ особенно для баттарейныхъ нагрѣвателей. Отъ восходящей трубы *S* отвѣтвляются горизонтальныя трубы *v*, идущія потомъ внизъ въ отводную трубу *R*, которая ведетъ снова въ котелъ. Добавленіе, какъ вообще при отапливаніи водой, производится при помощи открытаго сосуда для расширенія, отъ котораго идетъ сифонная труба *C*. Этимъ способомъ достигается автоматическое наполненіе и, помощью поплавка съ вентилемъ въ резервуарѣ для расширенія,—постоянный уровень.

Считаютъ, что для каждыхъ получаемыхъ 100 кал. нужно имѣть 0,25 до 0,34 кв. м. нагрѣвной поверхности; первая величина соотвѣтствуетъ отопленію среднимъ давленіемъ, вторая—отопленію низкимъ давленіемъ. По „Zeitschrift d. Ver. Deutscher Ing., 1872“, отдача теплоты въ кал. трубами при разности температуръ въ 1° выражается слѣдующими величинами на 1 кв. м. поверхности трубъ.

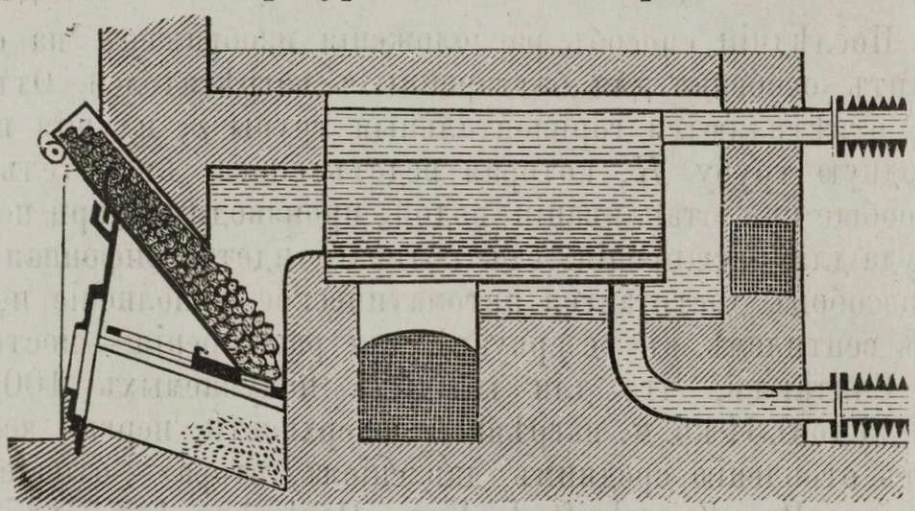
ДІАМЕТРЪ.	51 мм.	63 мм.	76 мм.	102 мм.	127 мм.	152 мм.	178 мм.
Чугунныя горизонт. трубы. .	—	—	7,81	7,65	7,43	7,21	6,99
Желѣзныя горизонт. трубы. .	8,26	8,09	7,93	7,75	7,65	7,55	7,53
Вертикал. трубы длиннѣе 1,5м.	8,47	8,61	8,49	8,43	8,35	8,30	8,25
	Для погон. метр. при разн. температ. въ 1°						
Горизонтальныя трубы. . . .	1,65	1,97	2,29	2,93	3,47	4,23	4,88
Вертикальныя трубы. . . .	1,92	2,27	2,63	3,06	4,08	4,84	5,49
Среднимъ числомъ при чугунныхъ тр.	—	—	2,35	2,98	3,40	3,93	4,75

Приблизительно можно считать на 2 кв. фут. поверхности трубъ 80 до 100 куб. м. нагрѣваемаго пространства и на 1 кв. ф. площади нагрѣва водогрѣйнаго котла до 50 погон. футъ 4 дм. трубъ или вообще 60 кв. ф. поверхности трубъ. Наибольшій внутренній діаметръ считается въ 4 д. для самыхъ высокихъ строеній.

Если отдача теплоты совершается баттареями, то на кв. м. поверхности баттареи считаютъ 6,35 кал. Въ случаѣ печей нужно замѣтить, что теплопроводности мѣди, листоваго желѣза и чугуна относятся между собою, какъ $1:{}^5/_{12}:{}^2/_3$. Скорость теченія воды по трубамъ зависитъ отъ температуры, высоты напора и діаметра трубъ. Котелъ, служащій тепловымъ резервуаромъ, содержитъ—при топкѣ для каменнаго угля—на каждый кв. м. поверхности нагрѣвныхъ аппаратовъ до 35 литр. воды; для 10 кв. м. нагрѣвной поверхности нужно принимать 0,03 до 0,05 кв. м. полной площади рѣшетки, при чемъ на отапливаніе дается $1^1/_2$ до $2^1/_3$ часа. Избыточное давленіе до 3 атм.

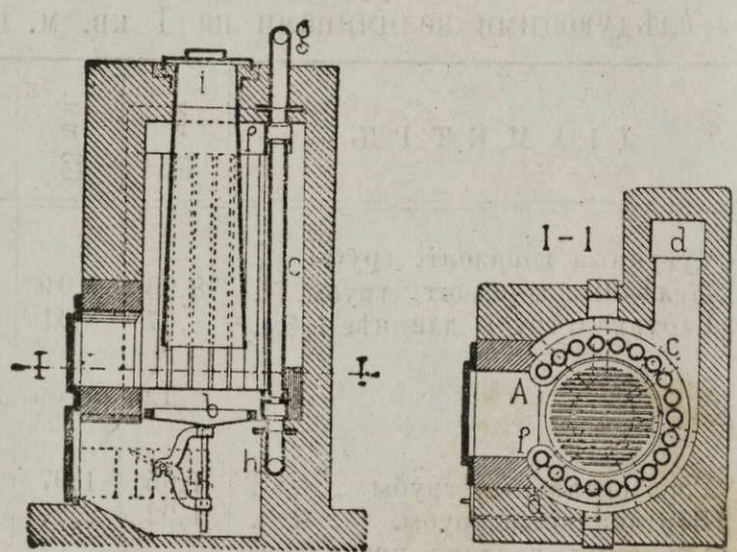
Величина резервуара для расширенія зависитъ отъ температуры и количества воды; обыкновенно дѣлаютъ его такой величины, чтобы объемъ его составлялъ 0,045 отъ объема находящейся въ системѣ трубъ воды. На 100 куб. м. отапливаемаго пространства считаютъ 0,4 до 0,6 кв. м. площади, соприкасающейся съ огнемъ и 0,027 до 0,03 кв. м. полной площади рѣшетки.

Если $t—t_0$ есть разность температуръ, w число калорій, соотвѣтствующихъ 1^0 разности температуръ, то поверхность нагрѣва $= \frac{w\,(t—t_0)}{11250}$.



фиг. 523.

Котелъ долженъ выдержать давленіе въ 3 атм., конструкція его обыкновен., какъ конструкція всѣхъ котловъ съ пламенною трубою; но такъ какъ онъ весь наполняется водой, то его совершенно застраиваютъ въ дымовые ходы. Было сдѣлано много цѣлесообразныхъ измѣненій въ различныхъ частяхъ этихъ котловъ. Такъ на фиг. 523 изображенъ котелъ съ шахтной топкой, примѣненный инженеромъ Кейферомъ для отопленія теплой водой. Этотъ котелъ удобенъ постольку, по-

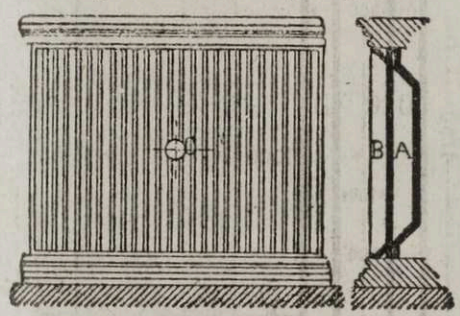


фиг. 524—525.

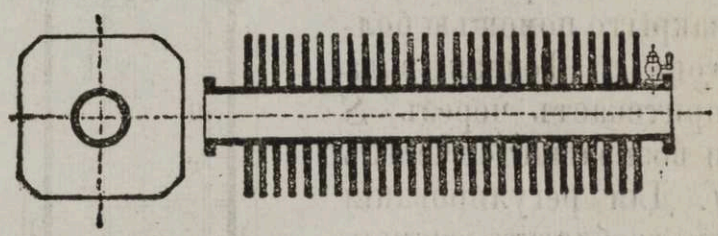
сколько большое наполненіе шахты дѣлаетъ топку непрерывно-дѣйствующею.

Для отопленія меньшихъ помѣщеній служитъ котелъ Грангера и Гиана (фиг. 524—525); его топка конструирована для мелкаго топлива; топливо черезъ конусъ *i* забрасывается на подвижную рѣшетку *b*; горячіе газы уходятъ черезъ огневые ходы *c* въ дымовую трубу *a*. Вода заключена въ вертикальныхъ трубкахъ, удерживаемыхъ подковообразнымъ кольцомъ *f* и отводится въ нагрѣвные аппараты трубой *g*; *h*—труба, приводящая воду обратно въ котелъ.

Если комната отапливается баттареями, то послѣднія помѣщаются обыкновенно подъ окномъ или въ нишахъ; для перваго случая пригодна баттарея, нагрѣвающая только одной своей стороной (фиг. 526—527). Здѣсь *A* - водосодержащій ящикъ съ проводной и отводной трубой. Регулирующій кранъ установливается посредствомъ пуговки *C*. Доска *B* имѣетъ приливныя ребра и передній край выступовъ тоже снабженъ ребрами.

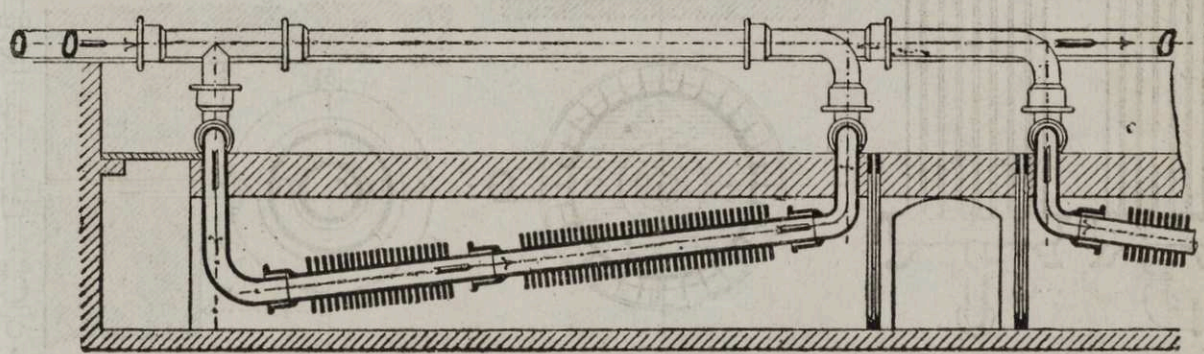


фиг. 526—527.



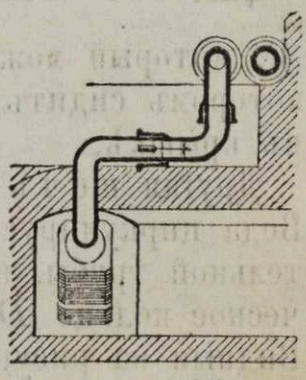
фиг. 528—529.

Другая конструкція, заимствованная изъ „Zeitschrift d. V. D. Jng. 1872“, представлена на фиг. 528—529. На круглой водоводной трубѣ сдѣланы многочисленные четыреугольные флянцы, для того чтобы увеличить лучеиспусканіе теплоты. Небольшой вентиль служитъ для выпуска находящагося въ каналѣ воздуха.



фиг. 530.

Конструкція, преслѣдующая противоположныя цѣли, не отдавать, а принимать теплоту, для того, чтобы нагрѣть циркулирующую въ трубахъ воду, изображена на фиг. 530—531. Такое отопленіе было примѣнено на газовомъ заводѣ въ Тулѣ, чтобы охранить воду газометра отъ замерзанія. При этомъ пользовались теплотой газовъ изъ ретортныхъ печей, которые проводились по каналамъ, въ которыхъ находились баттареи.

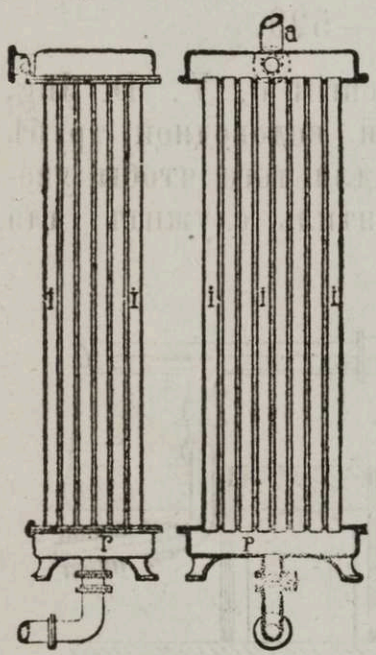


фиг. 531.

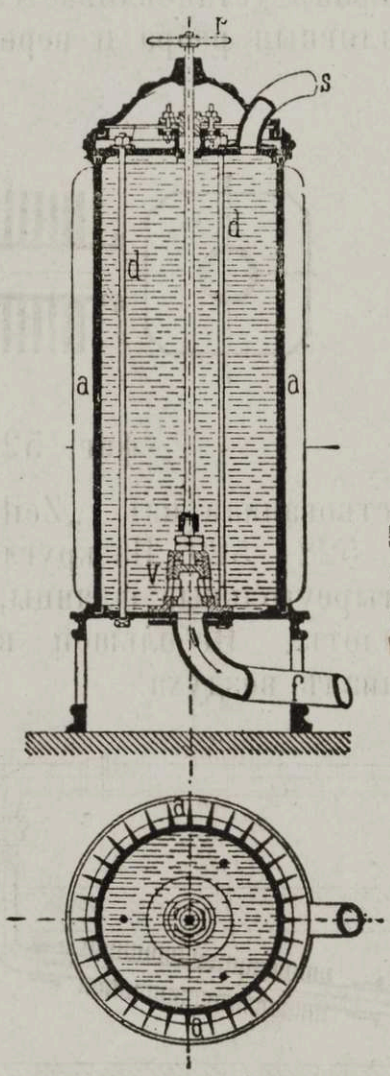
Батарея: 2,5 д. труба имѣетъ на погон. футѣ 24 квадратныхъ ребра по 6 д. въ сторонѣ и толщиною въ 0,25 д.; такія батареи строятся на 20, 30, 40 и 80 реберъ.

Печи для отопленія теплой водой. На фиг. 532—533 изображена конструкція, взятая изъ „Practischer Maschienenconstructeur 1878“, печь четыреугольная и составлена изъ отдѣльныхъ трубъ. Теплая вода вступаетъ въ печь черезъ нижнюю трубу, снабженную регулирующимъ клапаномъ, распредѣляется по трубамъ *i* и черезъ трубу *a* выходитъ изъ печи.

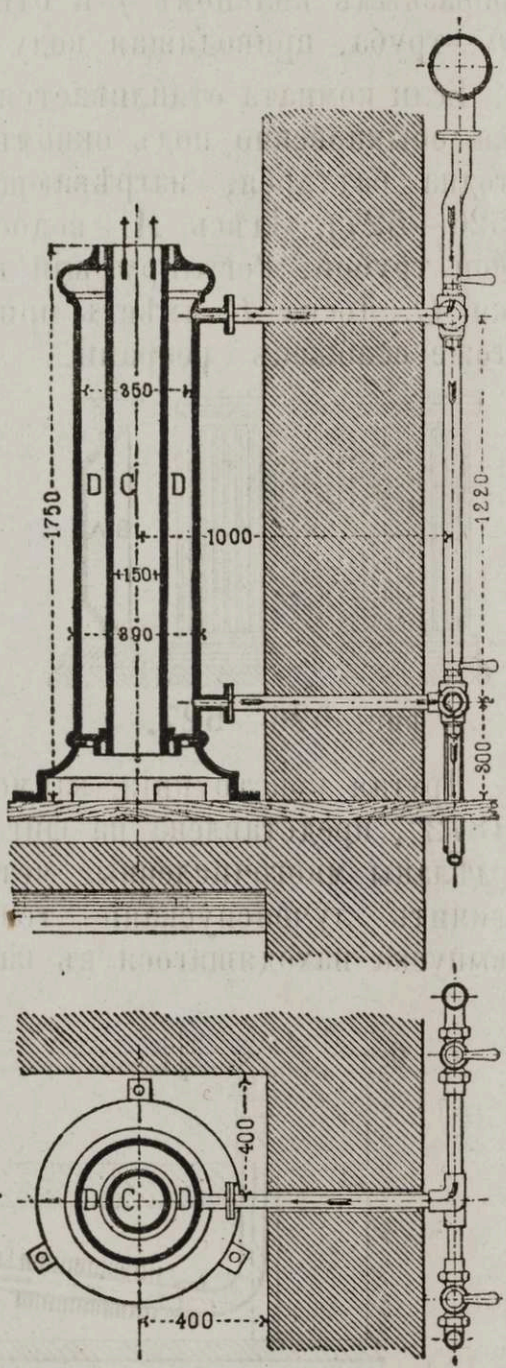
Въ Петербургскомъ Зимнемъ дворцѣ примѣнена печь съ теплой водой, изображенная на фиг. 534—535; ея цилиндрическое, чугунное, ребристое кольцо *a* стянуто чугунными днищами и герметически закрыто помощью болтовъ *d*. Теплая вода притекаетъ черезъ *S* и возвращается черезъ *f*. Для регулированія употребляютъ вентиль



фиг. 532—533.



фиг. 534—535.



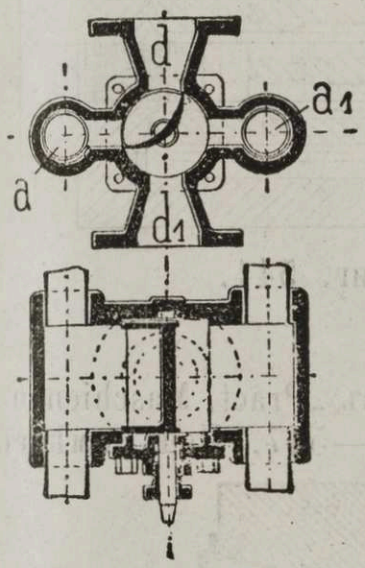
фиг. 536—537.

V, который можно вращать посредствомъ маховичка *r*. Стержень, на которомъ сидитъ маховичекъ, проходитъ черезъ непроницаемый сальникъ въ крышкѣ.

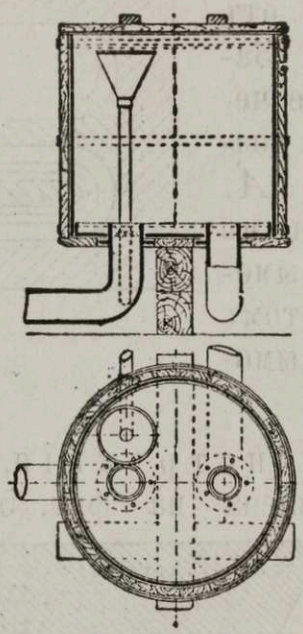
Другая печь съ теплой водой представлена на фиг. 536—537. Вода циркулируетъ въ верхней трубѣ, отвѣтвленной отъ распредѣлительной трубы, по пути, указанному стрѣлкой и нагрѣваетъ цилиндрическое кольцо *D*, между тѣмъ какъ по трубѣ *C* подымается воздухъ. Видныя на рисункѣ болѣе толстыя трубы служатъ для циркуляціи въ томъ случаѣ, когда дѣйствіе печи остановлено.

Регулирующіе краны, служащіе для регулированія скорости нисходящей воды для различныхъ печей и, слѣдовательно, для регулированія температуры и нагрѣвной способности послѣднихъ, помѣщены въ вертикальныхъ водоводныхъ трубахъ. Употребляютъ при этомъ обыкновенные пролетные или замыкающіе вентили.

Очень употребительный вентиль, играющій роль четырехходоваго крана, изображенъ на фиг. 538—539, изъ „Zeitschr. d. V. D. Ing., 1872“. Въ томъ случаѣ, который изображенъ на рисункѣ, вся вода идетъ изъ нисходящей трубы черезъ печь; небольшимъ поворачиваніемъ перегородки циркуляція регулируется.



фиг. 538—539.

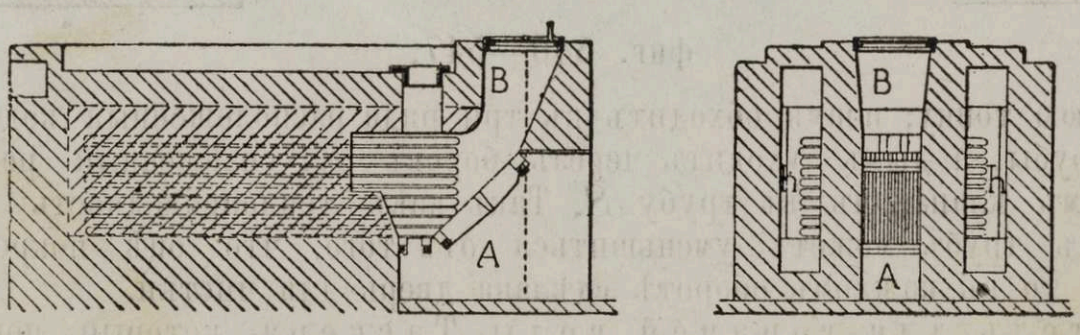


фиг. 540—541.

Для резервуаровъ для расширенія, которые при отопленіи теплой водой всегда открыты, употребляютъ деревянные или желѣзные изъ листоваго желѣза цилиндры. Приводная и отводная трубы приставляются къ цилиндру надлежащимъ образомъ и плотно привинчиваются. Такъ, резервуаръ для расширенія (фиг. 540—541) выложенъ листовымъ желѣзомъ и снабженъ отводной трубкой для лишней воды.

b) Отопленіе горячей водой. При такомъ отопленіи достаточно для каждыхъ 100 кал. требуемыхъ въ часъ, 0,1 кв. м. нагрѣвной поверхности. Способъ Перкинса самый употребительный; наружный діаметръ трубъ 35 мм., внутренній 24 мм. Такая толщина стѣнокъ необходима вслѣдствіе высокой температуры воды, 120° до 190°, что соотвѣтствуетъ давленію въ 3 до 12 атм.

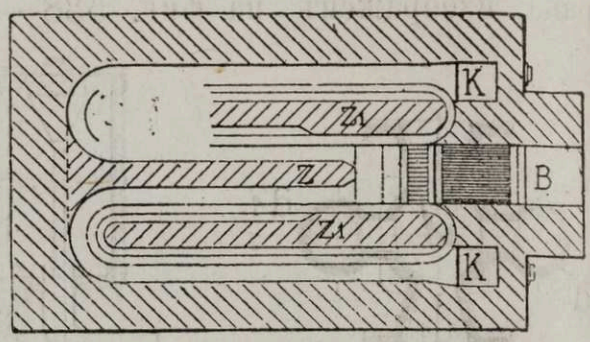
Печи для отопленія горячей водой устроены такимъ образомъ, что пламя обходитъ часть трубъ; прежде помѣщали въ печи $^1/_6$ длины трубъ, но Шинцъ показалъ, что достаточно класть $^1/_{15}$ полной ихъ длины; устройство всегда слѣдуетъ дѣлать такъ, чтобъ горячіе газы и вода текли въ противоположныхъ направленіяхъ. На 1000 куб. м. отапливаемаго пространства считаютъ 10 до 17 кв. м. поверхности трубъ. Резервуаръ для расширенія плотно запирается.



фиг. 542—543.

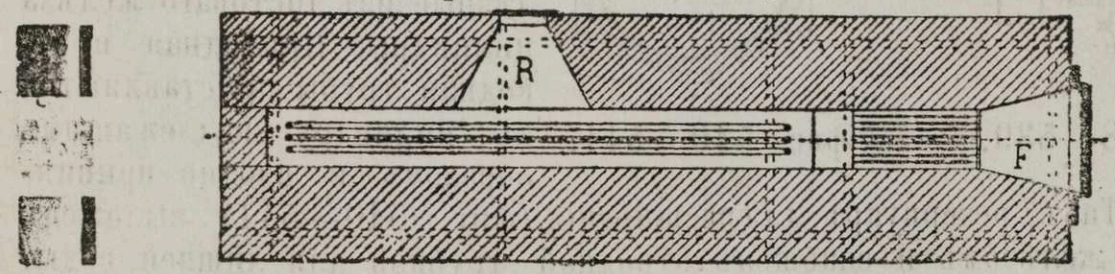
Печныя спирали при діаметрѣ 33 мм. и длинѣ 20 до 30 м. имѣютъ площадь нагрѣва около 2 до 3 кв. м. На 1 м. печной спирали=1000 кв. сант. площади нагрѣва, считаютъ около 28 кв. сант. общей и изъ нихъ 7 кв. сант. свободной площади рѣшетки.

Извѣстная фирма Баконъ въ Берлинѣ употребляетъ аппаратъ (фиг. 542—544). Онъ состоитъ изъ ряда спиралей, положенныхъ одна надъ другой, и нагрѣваемыхъ горячими газами, которые получаются отъ сжиганія топлива на рѣшеткѣ. Забрасываніе топлива непрерывное черезъ воронку B, а притокъ воздуха регулируется зольникомъ A. Перегородки zz_1 заставляютъ дымъ уходить черезъ каналы h въ дымовыя трубы KK, которыя потомъ соединяются въ одну общую дымовую трубу.

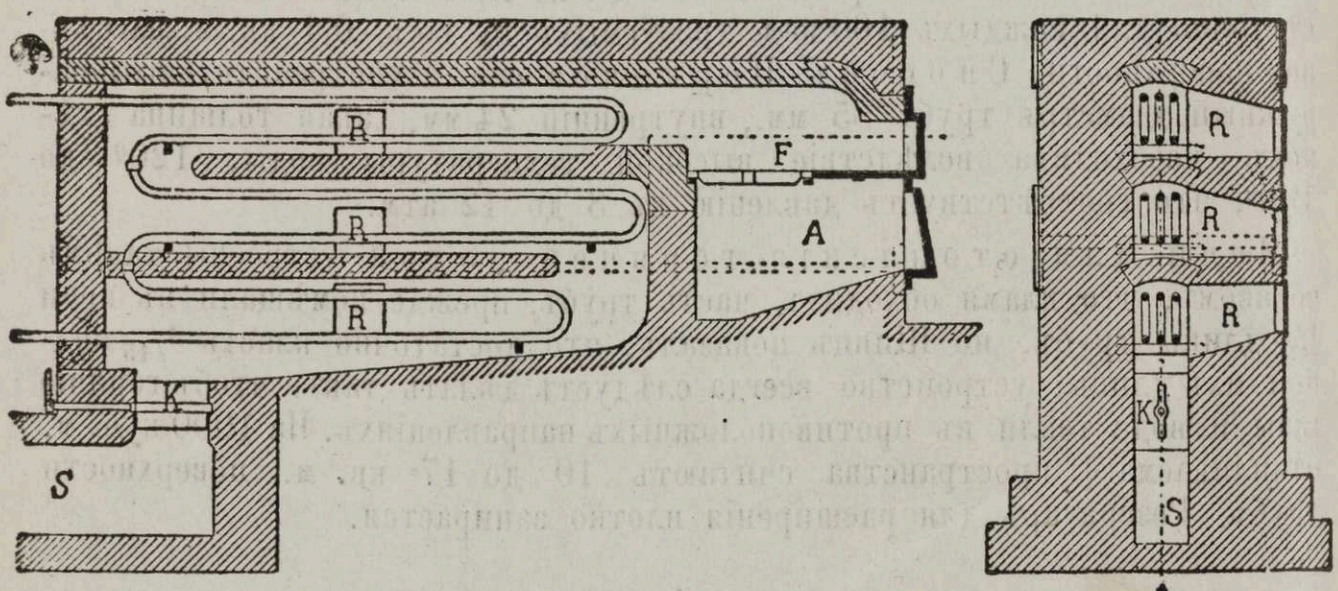


фиг. 544.

Другая очень хорошая конструкція, изъ „Pract. Maschienenconstructeur, 1870“, представлена на фиг. 545—547. Печь имѣетъ



фиг. 545.

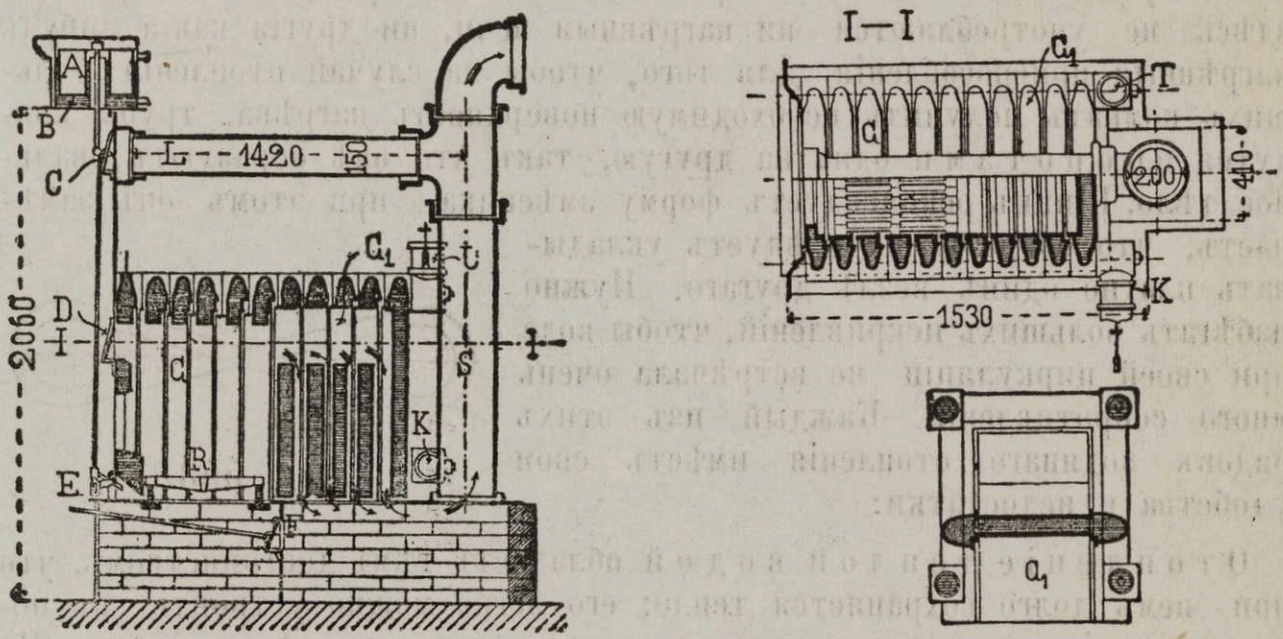


фиг. 546—547.

переднюю топку; пламя обходитъ въ три ряда расположенныя водоводныя трубы, а дымъ уходитъ черезъ боровъ K, снабженный регулирующимъ клапаномъ въ трубу S. Такъ какъ теплопроводность водоводныхъ трубъ можетъ уменьшиться отъ того, что онѣ покроются сажей, то въ каждомъ оборотѣ сдѣлана дверь для чистки.

Котелъ для горячей воды Таскера, который показывался на всемірной Филадельфійской выставкѣ, изображенъ на фиг.

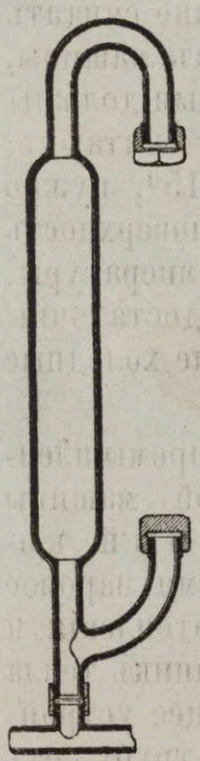
548—550. Аппаратъ состоитъ изъ топливника *R* и изъ котла, составленнаго изъ плитъ *G* и G_1; послѣднія (G_1) видны также на фиг. 514; дымъ уводится черезъ трубу *S*. Входъ охлажденной воды имѣетъ мѣсто при *K*, выходъ при *t*. Для автоматическаго регулированія



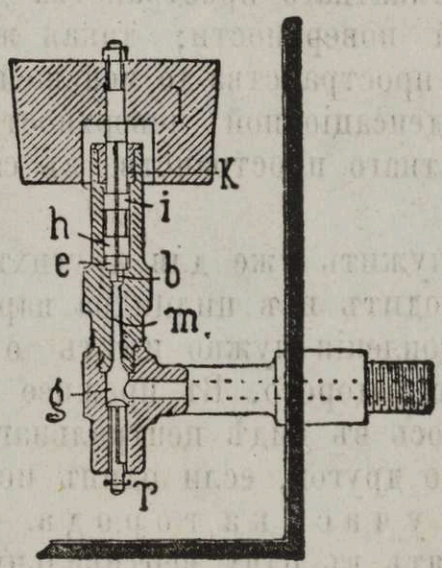
фиг. 548—550.

служитъ поплавокъ *A*, помѣщенный въ бассейнѣ *B*, который соединенъ съ водоводными трубами; поплавокъ соединенъ съ стержнемъ и съ системой рычаговъ, такъ что при очень высокой температурѣ поплавокъ подымается, дверь *C* открывается, а *E*—запирается. Клапаны *D* и *F* служатъ для регулированія отъ руки.

При отопленіи горячей водой резервуаръ для расширенія слѣдуетъ закрыть. Онъ служитъ для уравненія измѣненій объема, вызываемыхъ нагрѣваніемъ воды. Онъ имѣетъ въ діаметрѣ, какъ указано на фиг. 551, 7 до 10 ст. и длина его такова, чтобы объемъ его равнялся $^1/_4$ объема воды, содержащейся во всѣхъ тепловыхъ трубахъ. Резервуаръ запирается навинченными на него муфтами. Въ послѣднее время пользуются вентильнымъ ящикомъ съ всасывающимъ и нагнетательнымъ вентилемъ, вслѣдствіе чего съ одной стороны устраняется опасность взрыва, а съ другой достигается автоматическое питаніе трубъ. На фиг. 552 изображенъ такой вентиль Бакона; онъ вставленъ въ сосудъ и соединенъ съ тепловыми трубами; въ немъ имѣются всасывающій и нагнетательный клапаны. Послѣдній, обозначенный буквой *в*, изъ краснаго литья имѣетъ трехгранную форму, для того чтобы вода могла проходить; *h* и *i*—насадки, служащіе съ



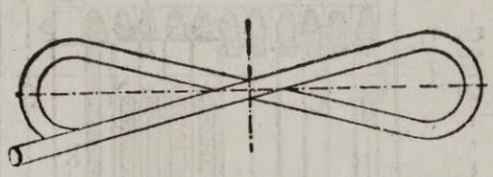
фиг. 551.



фиг. 552.

одной стороны, какъ направляющіе, а съ другой ограничиваютъ подъемъ, такъ какъ *i* при подъемѣ упирается въ сальникъ; *l* — свинцовый грузъ, которымъ опредѣляется давленіе, господствующее въ трубахъ.

Нагрѣваніе комнатъ производится непосредственно трубами, здѣсь не употребляются ни нагрѣвныя печи, ни другія какія нибудь нагрѣвныя приспособленія. Для того, чтобы на случай отопленія большихъ комнатъ получить необходимую поверхность нагрѣва, трубы кладутся оборотами одна на другую, такъ что онѣ образуютъ овальное тѣло. Шинцъ рекомендуетъ форму змѣевика, при этомъ онъ замѣчаетъ, что обороты не слѣдуетъ укладывать плотно одинъ возлѣ другаго. Нужно избѣгать большихъ искривленій, чтобы вода при своей циркуляціи не встрѣчала очень много сопротивленій. Каждый изъ этихъ рядовъ водянаго отопленія имѣетъ свои удобства и недостатки:



фиг. 553.

Отопленіе теплой водой обладаетъ тѣмъ достоинствомъ, что при немъ долго сохраняется тепло; его легко можно устроить въ новыхъ зданіяхъ и оно даетъ продолжительное равномѣрное тепло. Но имъ трудно пользоваться при вентиляціи и устройство его дорого стоитъ.

Отопленіе горячей водой обходится дешевле, чѣмъ теплой—въ отношеніи 3:5; вода можетъ быть проведена на большее разстояніе и отопленіе производится быстрѣе. Но зато трубы легко промерзаютъ, перегрѣваются и даютъ много поводовъ для взрыва; кромѣ того быстрое охлажденіе дѣлаетъ необходимымъ продолжительное отапливаніе. Деревянныя части, находящіяся вблизи трубъ, сильно страдаютъ, если онѣ не ограждены чѣмъ нибудь.

5. Паровое отопленіе. Въ фабрикахъ, гдѣ двигателями служатъ машины высокаго давленія, лучшимъ отопленіемъ должно считать паровое; въ этомъ случаѣ пользуются мятымъ паромъ машины, теплота котораго и идетъ на нагрѣваніе. На 100 калорій, которыя должны быть получены въ часъ, считаютъ 0,11 кв. м. Но практики считаютъ, что, для нагрѣванія 70 куб. м. комнатнаго пространства до 15°, нужно имѣть 1,7 кв. м. конденсаціонной поверхности; такая же поверхность нужна для нагрѣванія 100 куб. м. пространства до меньшей температуры. По Морену 20 до 24 кв. м. конденсаціонной поверхности достаточны для нагрѣванія 1000 куб. м. комнатнаго пространства въ самые холодные дни до 17°.

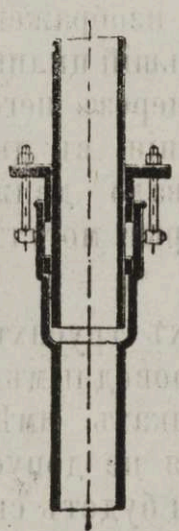
Употребляемый паръ можетъ служить уже для другихъ промышленныхъ цѣлей или же онъ выходитъ изъ цилиндра паровой машины высокаго давленія; если для отопленія нужно имѣть особый котелъ, то устройство обходится дорого. Въ прежнее время паровое отопленіе всего чаще встрѣчалось въ видѣ центральнаго отопленія и такая система обходилась дешевле другой, если одинъ источникъ тепла служилъ для нагрѣванія цѣлаго участка города. Общее устройство таково, что паръ проводятъ въ одну вертикальную трубу, отъ которой отвѣтвляются передаточныя трубы; паръ, вслѣдствіе отдачи своей теплоты, конденсируется и въ видѣ воды съ температурой около

60° достигаетъ обратно въ котелъ, куда онъ доставляется посредствомъ инжектора; вся остальная вода для котла нагнетается туда помощью небольшаго насоса.

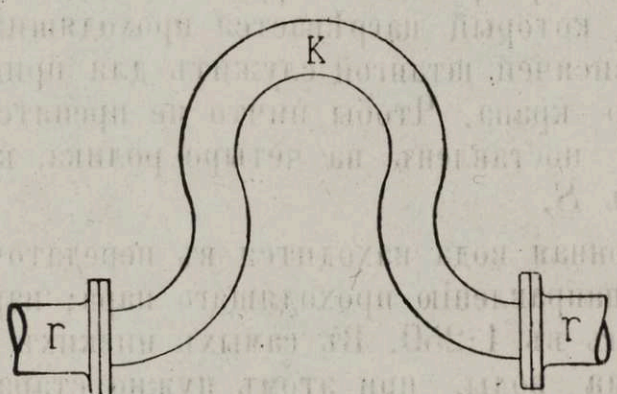
Нагрѣваніе (отдача теплоты) производится или трубами или печами (нагрѣвателями), помѣщенными въ комнатахъ. Употребляющіяся, въ настоящее время почти исключительно, трубы изъ оцинкованнаго листоваго желѣза, діаметры которыхъ опредѣляются въ зависимости отъ числа требуемыхъ калорій, имѣютъ, вообще, въ діаметрѣ 10 до 12 ст.; толщина ихъ стѣнокъ 1 до 2 мм. Нужно особенно замѣтить, что трубы должны свободно измѣнять свою длину отъ измѣненій температуры, такъ какъ часто отъ того, что это физическое свойство не было принято во вниманіе, трубы лопаются.

Нѣкоторыя компенсаціонныя приспособленія для трубъ представлены на прилагаемыхъ рисункахъ. На фиг. 554 представлено осоединеніе посредствомъ сальника. Конструкціи винтовъ, служащихъ для стягиванія набивки отступаютъ отчасти отъ обыкновенной конструкціи; винты хватаются за выступъ на нижней трубѣ и ихъ такимъ образомъ легко удалить.

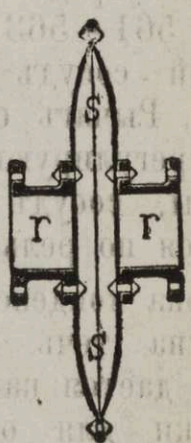
Часто также употребляютъ мѣдную трубу *k* (фиг. 555), изогнутую въ видѣ подковы; такую трубу помѣщаютъ между паропроводными трубами *rr*; упругость мѣди облегчаетъ сближеніе или удаленіе



фиг. 554.



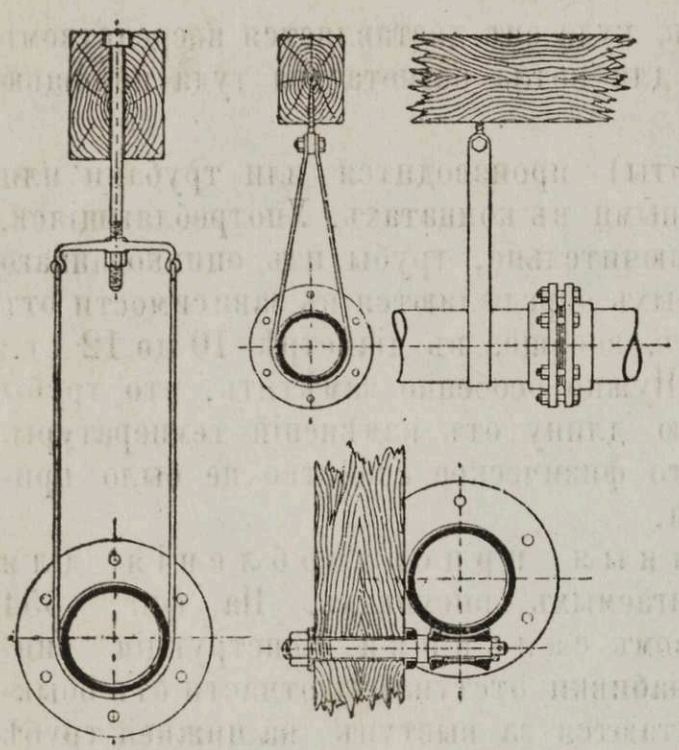
фиг. 555.



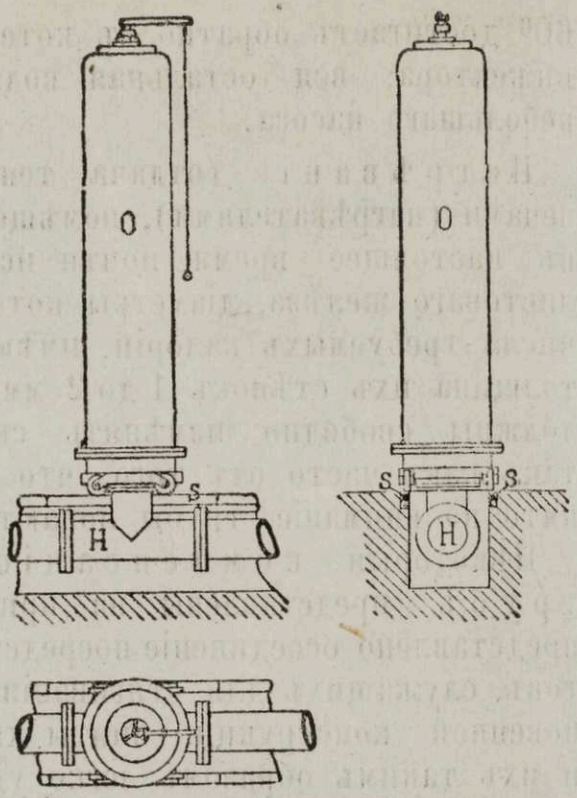
фиг. 556.

трубъ. Вслѣдствіе большой теплопроводимости мѣди, трубу особенно тщательно окружаютъ дурными проводниками тепла. Часто можно также встрѣтить мѣдныя шайбы *s* (фиг. 556), которыя помѣщаются между трубами *rr*; конструкція ихъ видна изъ рисунка.

Подвѣсъ трубъ указанъ на фиг. 557—560. Конструкція, при которой трубы подвѣшиваются на бугелѣ, удерживаемомъ на винтѣ, имѣетъ то удобство, что наклонъ можетъ быть въ точности сохраненъ. Часто употребляется конструкція, фиг. 522—523; пользуются также часто проволочными канатами вмѣсто полосоваго желѣза и вмѣсто того, чтобы употреблять винты, иногда просто желѣзо прибиваютъ гвоздями къ балкамъ. Для того, чтобы не приходилось класть трубы на консоляхъ, употребляютъ небольшіе ролики (фиг. 524), сидящіе на болтахъ, которые привинчены къ балкамъ; при каменной кладкѣ нужно бы имѣть возможность употреблять соотвѣтственные болты.



фиг. 557—560.



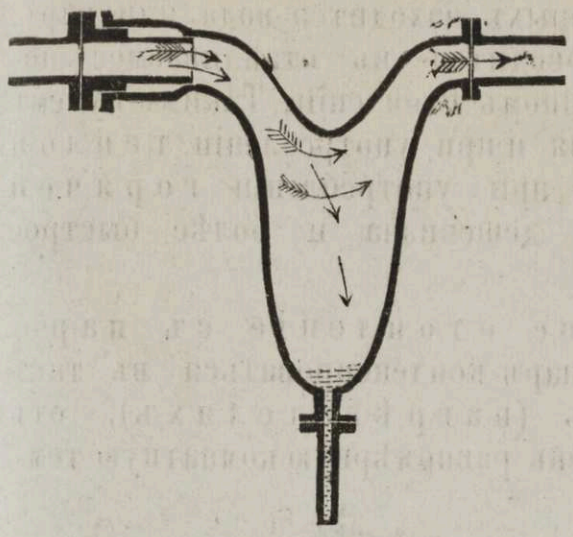
фиг. 561—563.

Если вмѣсто трубъ употребляютъ печи (нагрѣватели), то и въ этомъ случаѣ нужно дать возможность трубамъ свободно измѣняться по длинѣ; средство для этого, изъ «Skizzenbuch Wiebe», изображено на фиг. 561—563. На паропроводной трубѣ *H* сидитъ бо́льшій цилиндрическій сосудъ *O*, который нагрѣвается проходящимъ черезъ него паромъ. Рычагъ съ висячей штангой служитъ для приведенія въ движеніе регулирующаго крана. Чтобы ничто не препятствовало движенію трубы, сосудъ *O* поставленъ на четыре ролика, которые могутъ катиться по рельсамъ *S*.

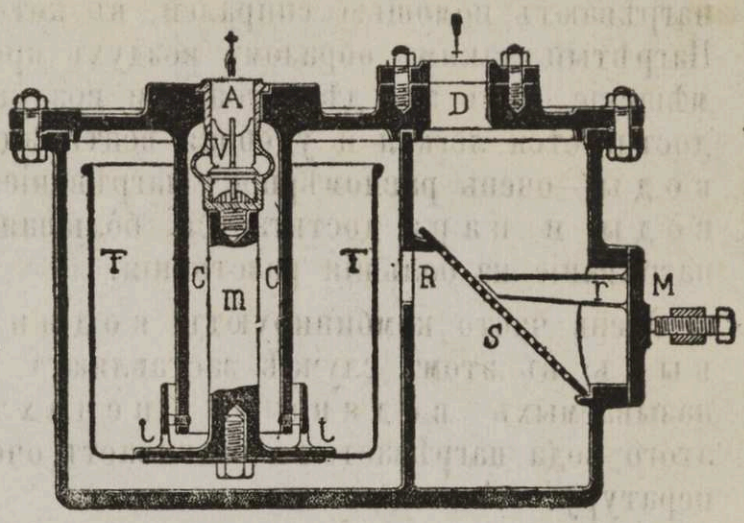
Пока конденсаціонная вода находится въ передаточныхъ трубахъ, она должна течь по направленію проходящаго пара; паропроводнымъ трубамъ дается наклонъ въ 1:250. Въ самыхъ низкихъ точкахъ имѣются трубки для отвода воды, при этомъ нужно стараться не допускать прониканіе воздуха, потому что иначе эффектъ нагрѣванія будетъ сильно ослабленъ. На этомъ же основаніи въ высшихъ частяхъ трубъ должно устраивать небольшіе краны для выпуска воздуха; тѣмъ не менѣе трубы должны имѣть еще клапаны, для того, чтобы впустить воздухъ, если пространство разрѣдится; такіе краны ставятся приблизительно на каждые 20 м.

Аппаратъ для выпуска конденсаціонной воды, устроенный Кейферомъ, изображенъ на фиг. 564. Обыкновенно пользуются *U*— образной трубкой; здѣсь же между трубами помѣщенъ родъ мѣшка, изъ котораго вода отводится черезъ маленькую трубку.

Для того, чтобы отводить бо́льшія количества воды, употребляютъ конденсаціонные аппараты, которые спеціально строятся на многихъ заводахъ для арматуры къ паровымъ котламъ. Такой аппаратъ Блянке и К°. въ Мерсебургѣ показанъ на фиг. 565. Паръ съ водой сначала вступаютъ черезъ *D* въ особый пріемникъ. Въ послѣднемъ находится сито *S*, которое задерживаетъ нечистоты, а эти удаляются черезъ отверстіе, прикрываемое крышкой *M*; прилитый къ крышкѣ



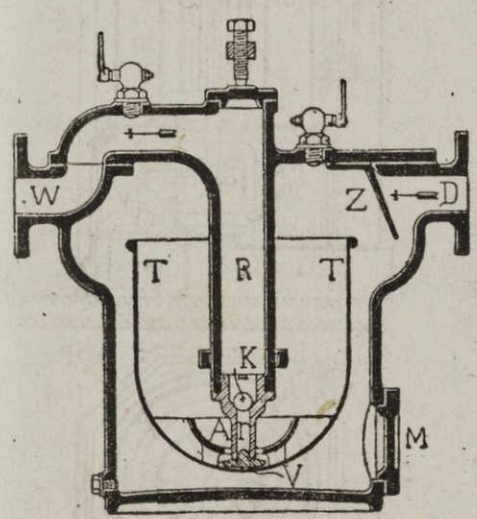
фиг. 564.



фиг. 565.

выступъ r держитъ сито S въ надлежащемъ положеніи. Вода черезъ R проходитъ въ другой пріемникъ, въ которомъ плаваетъ сосудъ T, который, поднимаясь, закрываетъ вентилемъ V выходное отверстіе A. Если воды прибываетъ столько, что она переливается черезъ край сосуда, то послѣдній, дѣлаясь тяжелѣе, опускается и давленіемъ пара пропускаетъ воду изъ вентиля, прикрѣпленнаго къ m черезъ отверстія i и черезъ пространство C.. V есть двойной вентиль, препятствующій обратному теченію воды и устраняющій потерю пара въ томъ случаѣ, когда въ сосудѣ T нѣтъ воды, такъ какъ онъ (вентиль) прижимается къ верхней опорѣ.

Усовершенствованный конденсаціонный аппаратъ Кирхвегера изображенъ на фиг. 566; такіе аппараты строятся Траутшольдъ и Рагузеномъ изъ Зюденбургъ-Магдебурга. Черезъ D притекаетъ паръ, а нечистоты и вода стекаютъ по пластинѣ Z. Вслѣдствіе большой ширины сосуда въ сосудъ T сразу попадаетъ много воды, такъ что онъ опускается и вентиль V отходитъ отъ R; тогда паръ вытѣсняетъ воду дальше. Труба R служитъ въ то же время направляющей для сосуда T. Гнѣздо вентиля r удерживается чашкой A, вѣсъ которой зависитъ отъ давленія пара. Вода не пропускается обратно шаровымъ клапаномъ K.



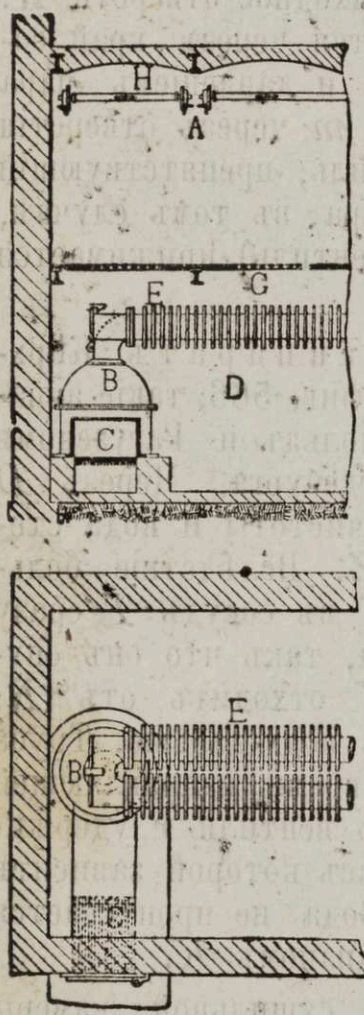
фиг. 566.

Паровое отопленіе съ ребристыми трубами для сушильной камеры показано на фиг. 567—568. Въ подвалѣ D стоитъ котелъ B, топка котораго обозначена буквой C; E—ребристыя трубы, которыми нагрѣвается воздухъ, проходящій черезъ отверстія въ полъ въ помѣщенія A, гдѣ просушиваемые предметы висятъ на полосахъ; полосы могутъ перемѣщаться на роликахъ.

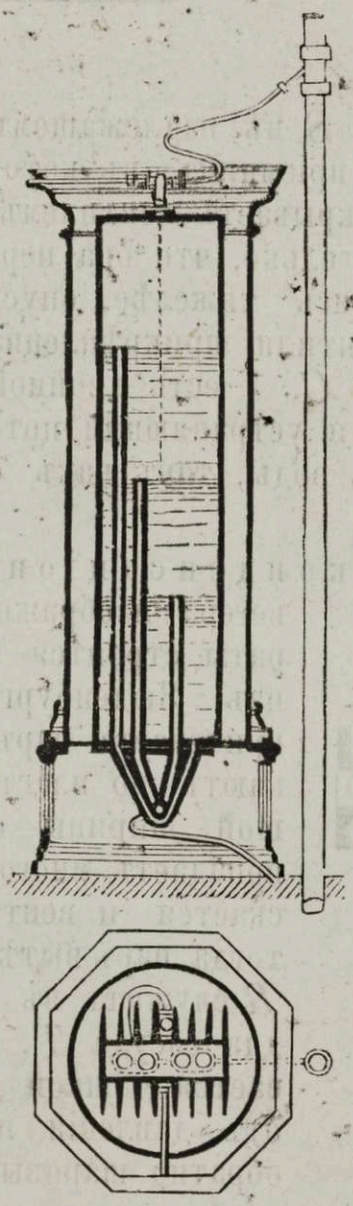
6) Сложное отопленіе. Чтобы соединить удобства одной системы отопленія съ удобствами другой, разныя системы комбинируются между собой. Такъ употребляютъ водяное или паровое отопленіе вмѣстѣ съ воздушнымъ. При этомъ воздухъ

нагрѣваютъ помощью спиралей, въ которыхъ находится вода или паръ. Нагрѣтый такимъ образомъ воздухъ проводится въ отапливаемое помѣщеніе, какъ это дѣлается при воздушномъ отопленіи. Такимъ путемъ достигается легкая и удобная вентиляція и при употребленіи теплой воды—очень равномѣрное нагрѣваніе; при употребленіи горячей воды и пара достигается большая дешевизна и болѣе быстрое нагрѣваніе на большія разстоянія.

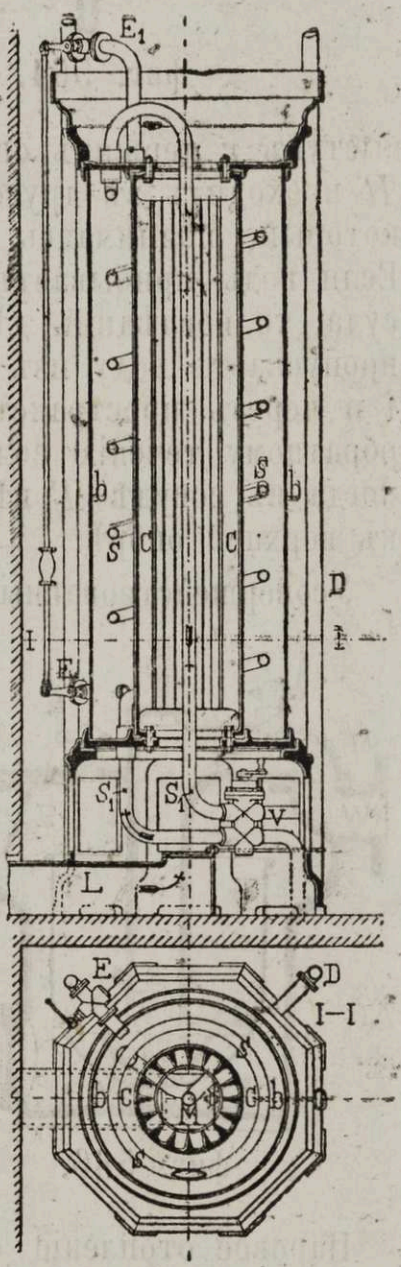
Очень часто комбинируютъ водяное отопленіе съ паровымъ; въ этомъ случаѣ заставляютъ паръ конденсироваться въ такъ называемыхъ водяныхъ печахъ (нагрѣвателяхъ), отъ этого вода нагрѣвается и развиваетъ очень равномѣрную комнатную температуру. Лишняя конденсаціонная вода отводится и посредствомъ инжектора доставляется въ котелъ.



фиг. 567—568.



фиг. 569—570.



фиг. 571—572.

Паро-водяной нагрѣватель Кайзерлаутернскаго завода, конструированный инженеромъ Кейферомъ, изображенъ на фиг. 569—570. Для регулированія нагрѣвателя нужно уменьшить нагрѣвную поверхность, въ этомъ случаѣ—количество воды на $^2/_3$, $^1/_2$, $^1/_4$ и 0; поэтому, часто отсутствуетъ неудобный задерживающій вентиль, такъ какъ регулированіе обезпечивается нижнимъ краномъ. Планъ указываетъ на ребристыя нагрѣвныя поверхности, помѣщенныя внутри цилиндра;

въ такомъ видѣ онѣ могутъ быть употреблены также для пароваго отопленія, тогда онѣ стоятъ въ подвалѣ.

Другая конструкція Арнольда и Ширмера показана на фиг. 571—572. Нагрѣватель изъ листоваго желѣза имѣетъ посрединѣ чугунное ребристое ядро *c*. Въ образованномъ такимъ образомъ цилиндрическомъ пространствѣ *bb*, помѣщена трубчатая спираль, въ которой циркулируетъ паръ, s_1 s_1—двѣ трубы, отвѣтвленныя отъ главной паропроводной трубы, онѣ запираются вентилемъ *v*. Наполненіе водой дѣлается черезъ *E*, а черезъ E_1 выпускается воздухъ; обѣ составляютъ вѣтви трубы, ведущей въ резервуаръ для расширенія. Между трубками *E* и E_1 помѣщены краны и для того, чтобы труба *E* служила въ то же время для расширенія, оба крана соединены между собой посредствомъ штанги, такъ что, когда нижній запертъ, верхній остается еще немного открытымъ; только когда нагрѣватель долженъ перестать дѣйствовать, верхній кранъ запирается. Черезъ *L* въ нагрѣватель вступаетъ воздухъ, для регулированія притока котораго употребляютъ задвижку.

Считаютъ приблизительно, что такой нагрѣватель долженъ имѣть 0,25—0,4 кв. м. нагрѣвной поверхности для каждыхъ 10 куб. м. пространства при разности температуръ $+20^0$ и -15^0 и разности температуръ воды и воздуха въ 90^0 и что для каждаго 1 кв. м. нагрѣвной поверхности нагрѣвателя нужно отъ 0,06 до 0,1 кв. м. поверхности спиралей.

B. Вентиляція.

179. Свойства атмосфернаго воздуха. 1. Содержаніе углекислоты въ воздухѣ. Чистый атмосферный воздухъ содержитъ по объему 79% азота и 21% кислорода, а также 0,3 до 0,5 углекислоты на тысячу. 1 куб. м. воздуха при температурѣ 0^0 и барометрическомъ давленіи въ 760 мм. вѣситъ 1,298 клгр.

Азотъ воздуха есть газъ очень индифферентный и для легкихъ вообще безвреденъ; онъ служитъ къ тому, чтобы уменьшить и сдѣлать менѣе сильнымъ горѣніе, къ которому слѣдуетъ причислить нашъ жизненный процессъ.

Источниками порчи воздуха въ большей части случаевъ служитъ человѣческое дыханіе и освѣщеніе; въ фабрикахъ воздухъ часто портится, благодаря разнымъ способамъ производства—отъ образованія пыли, ядовитыхъ газовъ и т. д. Для удаленія такихъ нечистыхъ примѣсей, часто замѣтныхъ глазомъ или обоняніемъ, существуютъ различные способы. Вообще мѣриломъ порчи воздуха служитъ количество содержащейся въ немъ углекислоты, такъ какъ опредѣленіе его не такъ затруднительно, какъ опредѣленіе содержанія органическихъ веществъ; количество углекислоты легко опредѣляется химическимъ путемъ.

Петтенкоферъ даетъ среднюю величину въ 0,7‰; однако же воздухъ можетъ казаться хорошимъ при удовлетворительной вентиляціи, если онъ содержитъ 1 до 1,5‰.

РОДЪ ОСВѢЩЕНІЯ.	Расходъ въ часъ		Сила свѣта въ нормальн. свѣчахъ.	Количество углекислоты въ литр. выдѣляемой въ часъ.
	въ грам.	въ литрахъ		
Керосинъ (плоская горѣлка). .	35,5	0,045	10	56,8
„ (круглая горѣлка). .	50,5	0,064	7,6	61,6
Масляная лампа.	22,4	0,025	около4	31,2
Свѣча.	20,7	—	1	11,3
Свѣтильный газъ. разрѣзная горѣлка . . .	—	140	7,8	92,8
Свѣтильный газъ. плоская горѣлка..	—	127	10	86,0

Количество углекислоты, выдыхаемое взрослымъ человѣкомъ въ 24 часа, по опытамъ Петтенкофера, равно во время покоя 465 литровъ, а во время работы 625 литровъ. По Эрисману, количество углекислоты, выдѣляемой при освѣщеніи, выражается числами, помѣщенными въ приведенной таблицѣ.

Изъ этой таблицы видно, что хорошая керосиновая лампа образуетъ столько же углекислоты, сколько ее выдыхаютъ 3 человѣка (около 60 литровъ Co_2) и одна газовая горѣлка въ 7,8 нормальныхъ свѣчей, что соотвѣтствуетъ расходу 100 литровъ свѣтильнаго газа въ часъ, портитъ воздухъ въ такой же степени, какъ 4 человѣка (около 80 литровъ Co_2).

2. Содержаніе воды въ воздухѣ. Въ атмосферѣ всегда находятся водяные пары; абсолютной влажностью воздуха называется то количество по вѣсу водянаго пара, которое содержится въ одномъ кубическомъ метрѣ воздуха.

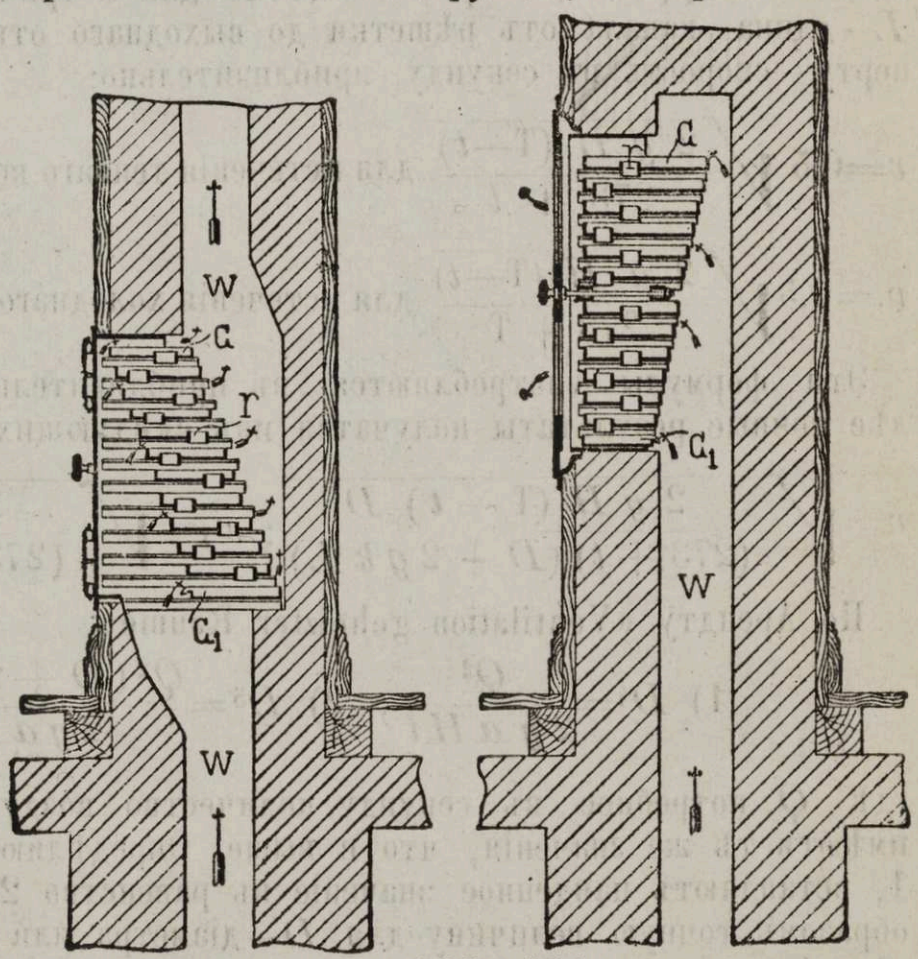
Относительной влажностью называется отношеніе количества воды, содержащейся въ одномъ кубическомъ метрѣ къ тому количеству, которое насыщаетъ единицу объема воздуха при той же температурѣ.

Количества воды, насыщающей воздухъ при разныхъ температурахъ, помѣщены въ слѣдующей таблицѣ.

Градусы Цельзія.	Наибольшая влажность въ 1 куб. м. воздуха въ грам.	Градусы Цельзія.	Наибольшая влажность въ 1 куб. м. воздуха въ грам.	Градусы Цельзія.	Наибольшая влажность въ 1 куб. м. воздуха въ грам.	Градусы Цельзія.	Наибольшая влажность въ 1 куб. м. воздуха въ грам.
— 20	1,57	— 1	4,50	+ 9	8,82	+ 19	16,26
— 10	2,30	0	4,89	10	9,38	20	17,53
— 9	2,50	+ 1	5,23	11	9,99	30	30,23
— 8	2,70	2	5 59	12	10,62	40	51,20
— 7	2,90	3	5,98	13	11,32	50	83,37
— 6	3,12	4	6,38	14	12,04	60	131,15
— 5	3,36	5	6,81	15	12,81	70	199,28
— 4	3,60	6	7,27	16	13,59	80	295,83
— 3	3,90	7	7,77	17	14,43	90	428,60
— 2	4,20	8	8,27	18	15,14	100	606,10

Слѣдовательно 1 куб. м. воздуха при 100°Ц. содержитъ 606,1 граммовъ водянаго пара.

Вообще принимаютъ, что наивыгоднѣйшая и наиболѣе полезная для здоровья степень влажности должна составлять 40 до 60% (отъ наибольшей влажности). Если воздухъ, вполнѣ насыщенный водянымъ паромъ при низкой температурѣ, нагрѣвается, то его относительная влажность уменьшается; абсолютная же влажность остается неизмѣнной. Проф. Вольпертъ приводитъ при этомъ слѣдующій примѣръ. Если взять воздухъ изъ атмосферы при температурѣ—20° и съ степенью влажности въ 100% и нагрѣть его до + 20°, то при помощи предъидущей таблицы и формулы $s = \frac{1}{1+at}$ можно опредѣлить новую степень влажности; она будетъ $\frac{1{,}57}{17{,}53} \cdot \frac{1}{1+0{,}003665.20} = 0{,}08$, т. е. 8%; способъ нагрѣванія воздуха здѣсь совершенно безразличенъ. Въ такихъ случаяхъ нужно призвать на помощь искусственное выпариваніе воды, если стѣны напримѣръ вслѣдствіе предшествовавшей сырой погоды не могутъ отдавать влажность. При описаніи воздушнаго отопленія были даны уже нѣкоторыя указанія относительно приборовъ для выпариванія воды, состоящихъ просто изъ открытыхъ сосудовъ съ водой, помѣщенныхъ въ нагрѣвной камерѣ. Усовершенствованныя конструкціи, Фишера и Штиля изъ Эссена, изображены на фиг. 573—574. Въ каналъ *W*, проводящій теплый воздухъ, заложено нѣкоторое количество плоскихъ сосудовъ $G\ G_1$, покоящихся на полосахъ изъ угловаго желѣза; если верхній сосудъ наполнить водой, то послѣдняя перейдетъ по трубкѣ *r* и наполнитъ второй сосудъ и т.д. Воздухъ, прежде чѣмъ выйти, долженъ пройти черезъ эти сосуды и такимъ образомъ онъ увеличиваетъ степень своей влажности.



фиг. 573—574.

Другой очень цѣлесообразный саморегулирующійся аппаратъ для насыщенія воздуха влагой изобрѣтенъ Ритшелемъ и Геннебергомъ; на него будетъ указано ниже.

Прежде всего нужно опредѣлить степень влажности воздуха, при средней его скорости. Для этого пользуются процентными гигрометрами, самые извѣстные изъ которыхъ суть: гигрометръ Клинкерфусса, гигрометръ Коппа съ волоскомъ и гигрометръ Вольперта съ соломинкой.

Температура вентиляціоннаго воздуха опредѣляется въ зависимости отъ разности температуръ наружнаго воздуха и внутренняго, слѣдовательно отъ того, производится ли вентилированіе зимой или лѣтомъ; въ первомъ случаѣ вводится теплый воздухъ, во второмъ холодный.

3. Движеніе воздуха. Та степень разрѣженія воздуха, которая вызвана нагрѣваніемъ безъ измѣненія его упругости называется, по Вольперту, относительною; степень же разрѣженія, вызванная какимъ либо другимъ путемъ, при чемъ уменьшается также упругость его, называется абсолютною.

Истеченіе воздуха изъ каналовъ. Если H есть высота отверстія канала надъ рѣшеткой, a коэффиціентъ расширенія $=$ $=0{,}003663$, $\frac{1}{a}=\frac{1}{0{,}003663}=273$, t — температура наружнаго воздуха, T — температура воздуха въ каналахъ, $g=9{,}81$ — ускореніе силы тяжести, D—діаметръ круглаго или сторона квадратнаго сѣченія, k—коэффиціентъ тренія$=0{,}0025$ для метрической системы мѣръ, L длина канала отъ рѣшетки до выходнаго отверстія, то по Вольперту—скорость въ секунду, приблизительно:

$v=0{,}5\sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+t}}$ для истеченія теплаго воздуха въ болѣе холод.

$v_1=0{,}5\sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+T}}$ для истеченія холоднаго воздуха въ болѣе теп.

Эти формулы употребляются въ приблизительныхъ разсчетахъ; болѣе точные результаты получатся изъ слѣдующихъ формулъ:

$$v=\sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)\,D}{(273+t)\,(D+2\,g\,k\,L)}};\quad v_1=\sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)\,D}{(273+T)\,(D+2\,g\,k\,L)}}$$

По Арендту «Ventilation geheizter Räume»:

$$1)\ D^4=\frac{Q^2}{2\,g\,a\,H\,t};\quad 2)\ D^5=\frac{Q^2\,(D+2\,g\,k\,L)}{2\,g\,a\,H\,t},$$

гдѣ Q потребное въ секунду количество воздуха; всѣ другія буквы имѣютъ тѣ же значенія, что и выше. Опредѣляютъ D изъ равенства 1, вставляютъ найденное значеніе въ равенство 2 и находятъ такимъ образомъ точную величину для D—діаметра или стороны поперечнаго сѣченія.

4. Необходимое количество свѣжаго воздуха. Количество вентиляціоннаго воздуха находится въ зависимости отъ того, чѣмъ служитъ вентилируемое помѣщеніе и отъ процентнаго отношенія

допускаемой порчи. Если n есть число кубическихъ метровъ углекислоты, развиваемыхъ дыханіемъ и освѣщеніемъ; p—предѣльное содержаніе углекислоты, т. е. 1 до 1,5‰, a—содержаніе углекислоты въ атмосферномъ воздухѣ=0,3 до 0,5‰, обыкновенно 0,0005) и k—объемъ воздуха, нужный для одного человѣка, то потребное количество воздуха V будетъ: $V=\frac{n}{p-a}-k$. Смотря по тому, чему принимается равнымъ p, V получаетъ различнымъ.

Необходимое количество чистаго воздуха на человѣка въ часъ, по Морэну:

Въ госпиталяхъ для незаразительныхъ болѣзней. . .	70 до 100 куб. м.
» » для эпидемическихъ болѣзней . . .	150 » »
» тюрьмахъ.	50 » »
» мастерскихъ	60 » »
» » (вредныхъ для здоровья)	100 » »
» казармахъ (ночью)	40 до 50 » »
» театрахъ и публичныхъ залахъ	40 – 50 » »
» школахъ	15—30 » »
» » для взрослыхъ (вечеромъ)	до 35 » »
» конюшняхъ.	100—200 » »

Въ обыкновенныхъ покояхъ достаточны 15 до 20 куб. м. воздуха на человѣка въ часъ; для спаленъ нужно увеличить количество до 40 свт.; если спальни въ нѣкоторыхъ случаяхъ служатъ комнатами для больнаго, то нужно вводить 60 до 100 куб. м. чистаго воздуха. При высотѣ въ 3,2 м. для одного человѣка достаточно пространство, имѣющее въ основаніи 16 кв. м. при этомъ не ощущается необходимости въ искусственной вентиляціи. Это благодаря проницаемости строительнаго матеріала, допускающаго самъ по себѣ обмѣнъ воздуха внутренняго и внѣшняго; эта способность матеріала пропускать черезъ себя воздухъ зависитъ отъ пористости его и сырости. Проницаемость стѣнъ уменьшается на половину, если ихъ покрываютъ обоями, масляной краской или растворимымъ стекломъ; клеевыя краски дѣйствительны на столько, сколько въ нихъ содержится клея. Произведенные въ этомъ отношеніи опыты не дали никакихъ практическихъ результатовъ; было найдено, что въ рабочей комнатѣ д-ра Петтенкофера черезъ 1 кв. м. поверхности стѣны, при разности температуры въ 1^0, проходитъ въ часъ 0,245 куб. м. воздуха; эту величину можно считать только за приблизительную.

При небольшомъ числѣ горѣлокъ и хорошей вентиляціи можно пренебречь тѣмъ количествомъ воздуха, которое необходимо для поддержанія горѣнія въ горѣлкахъ. Необходимое количество воздуха для каждой горѣлки въ часъ равно:

при газовомъ освѣщеніи (расходъ 0,1 куб. м.) .	26	куб. м. воздуха
стеариновыя и восковыя свѣчи	6	» » »
сальныя свѣчи (расходъ 0,01 клгр. въ часъ) .	1,66	» » »
лампы съ сильнымъ пламенемъ.	24	» » »

180. Устройство вентиляціи. 1. Различные способы вентиляціи. Существуютъ двѣ системы вентиляціи: система вдуванія (pulsion) и система вытягиванія (aspiration). Въ первой системѣ употребляютъ приводимые въ движеніе отъ двигателя вентиляторы, производящіе обмѣнъ воздуха тѣмъ, что вдуваютъ чистый воздухъ (pulsion) и высасываютъ наружу (suction) испорченный воздухъ. Въ системѣ вытягиванія, называемой также «естественной системой вентиляціи», пользуются нарушеннымъ равновѣсіемъ воздуха, явившимся вслѣдствіе измѣненій температуры; сюда причисляютъ: вентиляцію съ помощью естественнаго вѣтра или относительнаго движенія воздуха и употребленіе вытяжныхъ трубъ. Такимъ образомъ получаются слѣдующіе способы вентиляціи:

а) Вентиляція съ помощью естественнаго вѣтра или относительнаго движенія воздуха. 1) Впускъ наружнаго воздуха вообще недостаточенъ; но въ отдѣльныхъ случаяхъ, основанныя на этомъ приспособленія для подваловъ, складовъ, трюмовъ, могутъ служить съ выгодой.

2. Высасываніе внутренняго воздуха употребляется всегда съ пользой; относительное движеніе для вентилированія вагоновъ; высасывающее дѣйствіе вѣтра достигается насадками на трубахъ (см. устройство печей, (стр. 773 паровые котлы).

3. Одновременные впускъ и вытягиваніе годятся тамъ, гдѣ не требуется постояннаго обмѣна воздуха и гдѣ не могутъ быть помѣщены ни машины, ни печи (склады для храненія нороха).

b. **Вентиляція помощью искусственной разности температуръ.** 4. Вводъ холоднаго наружнаго воздуха употребляется при обыкновенныхъ (съ внѣшнимъ покровомъ) и трубчатыхъ нагрѣвателяхъ; но этотъ способъ одностороненъ, потому что самый теплый и чистый воздухъ собирается у потолка и такое же количество воздуха должно уходить черезъ побочныя (случайныя) отверстія, и именно въ верхней половинѣ комнаты, не будучи утилизировано въ достаточной степени, между тѣмъ какъ въ нижнихъ слояхъ остается испорченный и холодный воздухъ; полезное дѣйствіе вентиляціи зависитъ такимъ образомъ отъ величины случайныхъ отверстій.

5. Выводъ наружнаго воздуха имѣетъ мѣсто при употребленіи открытой трубы въ потолкѣ, вентиляціонной отводной трубы, при чемъ пользуются пламенемъ, служащимъ для освѣщенія, или Бунзеновской горѣлкой. Можно также воспользоваться имѣющимися дымовыми трубами, но при этомъ нужно устроить приспособленіе, чтобы тяга воздуха приняла одно опредѣленное направленіе. Этотъ способъ очень хорошъ, притомъ устройство его очень просто.

6. Одновременные вводъ и выводъ воздуха. Сюда относятся всѣ роды отопленія, при которыхъ имѣются приводная и отводная труба; дѣйствіе послѣдней обусловливается особенной теплой вентиляціонной трубой, при этомъ устраиваютъ отверстія внизу и вверху и эти отверстія употребляютъ, смотря по надобности.

c. **Вентиляція съ помощью вентиляторовъ.** 7. Вдуваніе воздуха употребляется тогда, когда имѣется двигатель и въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется ввести большое количество воздуха, которое можно увеличить, смотря по обстоятельствамъ. Приводныя отверстія находятся, при вентиляціи, устроенной вмѣстѣ съ отопленіемъ горячей водой, у пола; отводныя отверстія, сумма сѣченій которыхъ больше, находятся надъ потолочнымъ карнизомъ; направленіе движенія идетъ такимъ образомъ сверху книзу (?). Свѣжій воздухъ въ нагрѣвателѣ сжимается и смѣшивается съ свѣжимъ, холоднымъ воздухомъ, проходящимъ черезъ боковой каналъ. (Концертный залъ въ Франкфуртѣ на Майнѣ).

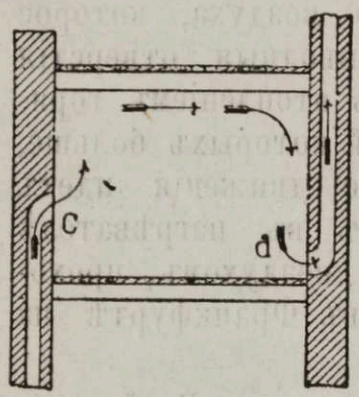
8. Высасываніе внутренняго воздуха. Вслѣдствіе высасыванія происходитъ въ покояхъ абсолютное разрѣженіе воздуха, а это обусловливаетъ притокъ воздуха изъ сосѣднихъ покоевъ, гдѣ воздухъ не всегда совершенно чистъ. Цѣлесообразнымъ устройствомъ приводныхъ каналовъ можно значительно уменьшить этотъ недостатокъ; вытяжная труба, устройство которой основано на относительномъ разрѣженіи воздуха, даетъ возможность почти вполнѣ его уничтожить.

9. При одновременномъ вдуваніи и высасываніи воздухъ сжимается въ нагрѣвателяхъ, потомъ вступаетъ въ помѣщенія и, наконецъ, высасывается вентиляторомъ, помѣщеннымъ на чердакѣ. Отопленіе и вентиляція въ самыхъ роскошныхъ помѣщеніяхъ устроены такимъ образомъ.

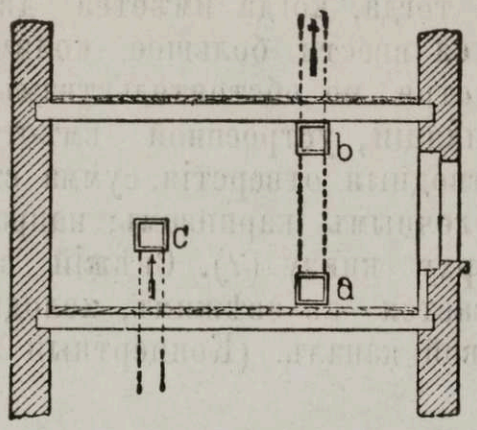
Комбинаціи приведенныхъ способовъ легко выполнимы; но они ограничиваются только соединеніемъ механической вентиляціи (посредствомъ машинъ) съ вытягиваніемъ.

2. Приводныя и отводныя отверстія (душники). Величина отверстій опредѣляется въ зависимости отъ скорости воздуха при входѣ и выходѣ. При скорости $v=1$ м. не чувствуется сквознаго вѣтра, если воздухъ вводится сбоку и черезъ отверстіе подъ потолкомъ комнаты, имѣющей въ вышину 4 до 5 м. Если воздухъ идетъ сверху внизъ по вертикальному направленію, то скорость его должна быть $v=0{,}5$ м. При входѣ воздуха на высотѣ, большей роста человѣка, по наклонному направленію вверхъ, скорость его можетъ быть $v=1$ до 2 м. При этомъ нужно замѣтить, что все сѣченіе (сумма отверстій рѣшетки и т. п.) должно имѣть большую величину, чѣмъ площадь сѣченія приводнаго канала. Отводныя отверстія имѣютъ величины, соотвѣтствующія перечисленнымъ случаямъ.

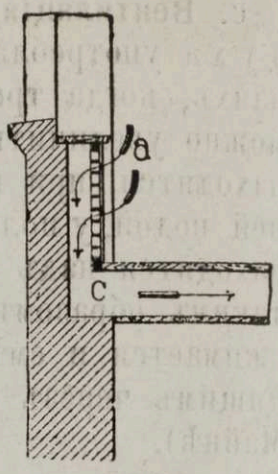
Положеніе входныхъ и выходныхъ отверстій тоже очень важно; что касается, прежде всего, до высоты положенія отверстій, то различаютъ два случая: лѣтнюю вентиляцію и зимнюю, потому что въ первомъ случаѣ вводится холодный воздухъ, во второмъ теплый. При зимней вентиляціи отверстія располагаются на высотѣ 1,8 до 2 м. отъ пола, чтобы струя воздуха прошла надъ головой; воздухъ выводится съ противоположной стороны черезъ отверстія у пола комнаты, какъ показано на фиг. 575. Если зимнюю вентиляцію соединяютъ съ лѣтней, то отводный каналъ снабжаютъ двумя отверстіями a и b (фиг. 576); вентиляція лѣтомъ производится черезъ отверстіе b, при чемъ a закрыто; зимою—черезъ отверстіе a, причемъ b закрыто.



фиг. 575.



фиг. 576.



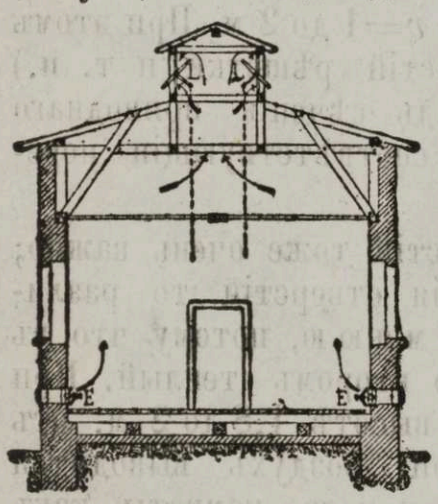
фиг. 577.

Теплый воздухъ вводится разбитой струей черезъ полъ или черезъ отверстія вблизи у пола, если скорость струи воздуха очень мала. Если чистый теплый воздухъ распространяется подъ потолкомъ, то отводные каналы устраиваютъ у пола (фиг. 577).

Если воздухъ разбитой струей входитъ у пола, то выходъ устраиваютъ у потолка, все равно, будетъ-ли входной воздухъ теплѣе или холоднѣе комнатнаго; такое устройство очень рекомендуется.

Если чистый, холодный воздухъ вводится въ теплую комнату полной струей черезъ потолокъ по вертикальному направленію, то отверстіе отводнаго канала должно находиться у потолка или на значительной высотѣ отъ пола. Сильная струя воздуха, направленная внизъ отклоняется въ стороны чашеобразными розетами или другими подобными приспособленіями. Выходныя отверстія должно при этомъ располагать въ надлежащемъ разстояніи отъ входныхъ. Такъ какъ воздушная смѣсь повсюду довольно однородна, то все равно устроить ли отводъ у пола, или на какой либо другой высотѣ.

Если воздухъ такъ сильно нагрѣвается животной теплотой и освѣщеніемъ, что для вентиляціи помѣщенія нужно ввести болѣе холодный воздухъ, то отводъ дѣлается у потолка; цѣлесообразно устроить притокъ черезъ вертикально поставленныя трубы; входъ воздуха можетъ быть на какой угодно высотѣ; на фиг. 578 показано, что входъ для воздуха устроенъ у пола. Если холодный воздухъ вводится разбитой струей черезъ каналы, устроенные у потолка, то направленія струй противополагаются одно другому и тогда произойдетъ полное смѣшеніе воздушныхъ массъ между собой; отводъ въ этомъ случаѣ, вообще не рекомендуемомъ, можно устроить произвольно, такъ какъ и такимъ путемъ достигается повсюду однородность воздушной смѣси.



фиг. 578.

Отверстія каналовъ въ горизонтальномъ направленіи нужно располагать такимъ образомъ, чтобы выходныя отверстія и входныя находились въ одной и той же стѣнѣ на одной вертикали, если теплый воздухъ

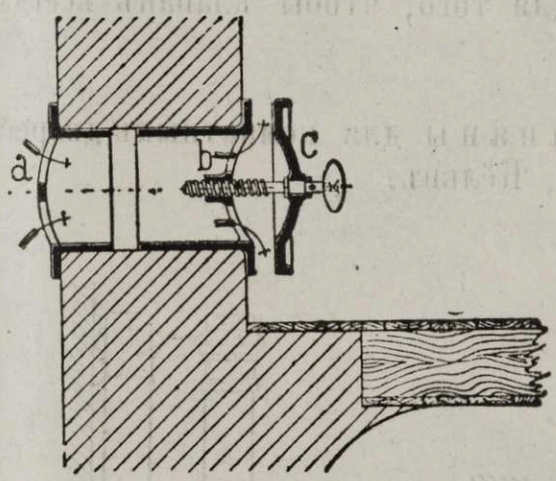
вводится полной струей на высотѣ 2 м. отъ пола; это относится также къ тому случаю, когда струя не полна и воздухъ вводится черезъ разныя мѣста стѣны.

Если холодный воздухъ вводится въ охлаждаемое помѣщеніе, то выходныя отверстія цѣлесообразно располагать въ противоположной стѣнѣ, слѣдовательно діагональное или діаметральное расположеніе отверстій употребляется только въ этомъ случаѣ.

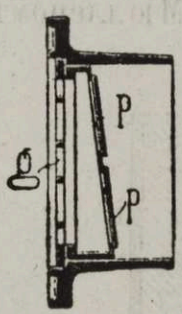
Входныя и выходныя отверстія устраиваются сообразно съ приведенными точками зрѣнія; эти отверстія въ различныхъ случаяхъ вообще различны.

3. **Практическое устройство приводныхъ и отводныхъ отверстій.** Розетта для впускнаго отверстія изображена на фиг. 579. Снаружи въ стѣну вставлена часть *a*, внутри часть *в*, въ которой имѣется винтъ, съ помощью котораго можно чашку *c* устанавливать въ большемъ или меньшемъ разстояніи отъ *в*; этимъ регулируется сѣченіе впускнаго отверстія.

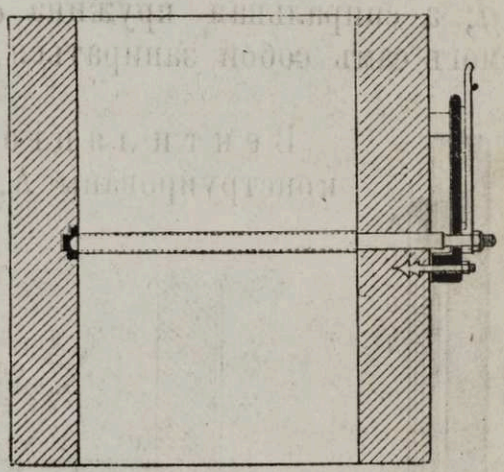
Клапанъ въ выпускномъ отверстіи отъ дымовой трубы или вытяжной шахты, препятствующій въ то же время обратному входу дыма, изображенъ на фиг. 580; буквой *p* обозначены слюдянные клапаны, которые чувствительны ко всякому движенію воздуха извнутри



фиг. 579.



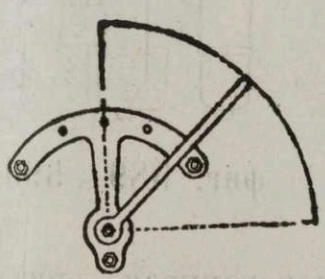
фиг. 580.



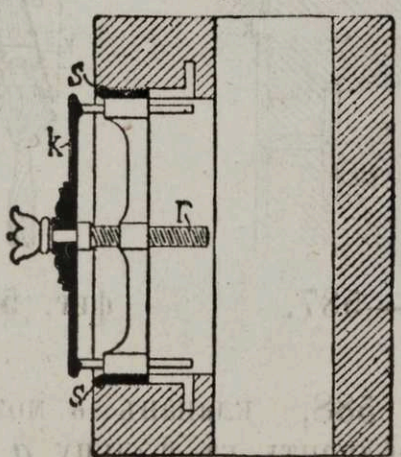
фиг. 581.

наружу, въ этомъ случаѣ они открываются и пропускаютъ воздухъ, но всякое обратное движеніе они дѣлаютъ невозможнымъ.

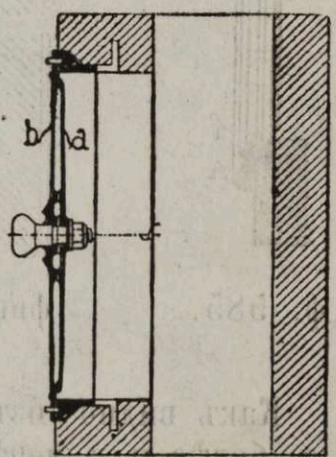
Кайзерлаутернскій заводъ приготовляетъ относящіяся сюда приспособленія различной конструкціи; такъ, на фиг. 581—582 представленъ



фиг. 582.



фиг. 583.



фиг. 584.

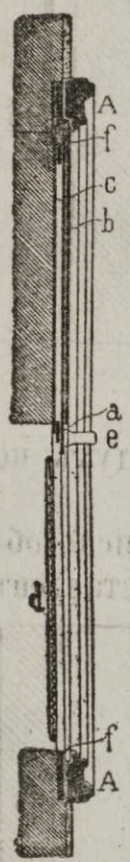
регулирующій клапанъ. Наружная рукоятка служитъ для установки клапана и для распознаванія положенія его.

Отверстія съ запирающимися дверцами изображены на фиг. 583—584. Каналъ запирается такъ, что плиту *к* прижимаютъ къ рамѣ *s*., поворачивая винтъ *v*. На фиг. 585 представленъ вращающійся клапанъ, поверхность котораго имѣетъ отверстія; такія отверстія сдѣланы какъ въ *в*, такъ и въ *а*, но такъ, что при поворачиваніи сплошныя мѣста въ *а* закрываютъ отверстія въ *в*. Часть *в* неподвижна и прикрѣпляется къ стѣнѣ посредствомъ надлежащаго флянца.

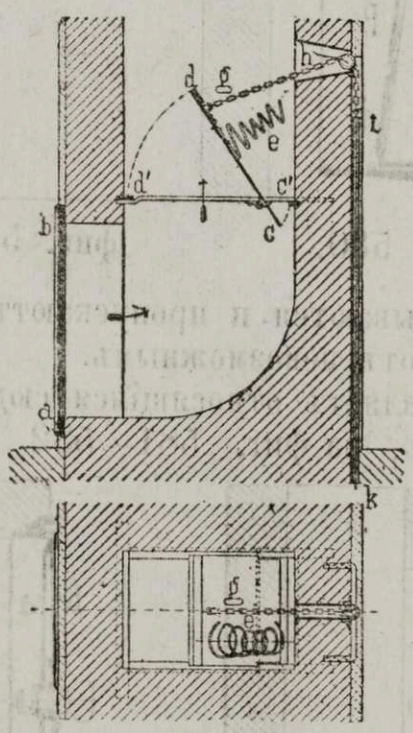
Задвижка, изобрѣтенная инженеромъ Полемъ и изображенная на фиг. 549, заимствована изъ «Zeitschrift des Oesterr. Archit und Ingenieurvereins, 1878». *AA* чугунная рама; *с* и *в* жестяные щиты *ff* такой же щитъ желѣзный, *а* клапанъ, который можно передвигать посредствомъ пуговицы *e*, *d* рѣшетчатый щитъ. Къ чугунной рамѣ придѣлана шкала, къ дѣленіямъ которой долженъ примыкать нижній конецъ клапана.

Приспособленіе для регулированія въ вентиляціонной шахтѣ показано на фиг. 586 и 587; *ав*-рѣшетка, *c'd'* означаетъ укрѣпленіе клапана между стѣнъ, *cd*—самый клапанъ, который уравновѣшивается грузомъ *i*, выходящимъ въ корридоръ; *h*—направляющій блокъ для цѣпи *g*; а спиральная пружина *e* служитъ для того, чтобы клапанъ всегда могъ самъ собой запираться.

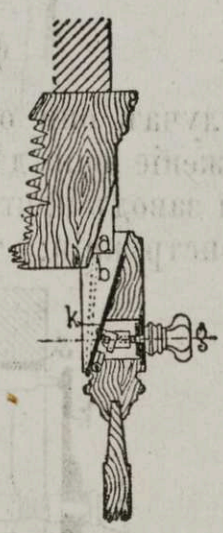
Вентиляціонные клапаны для комнатныхъ дверей конструированы А. Мюллеромъ, Кёльнъ.



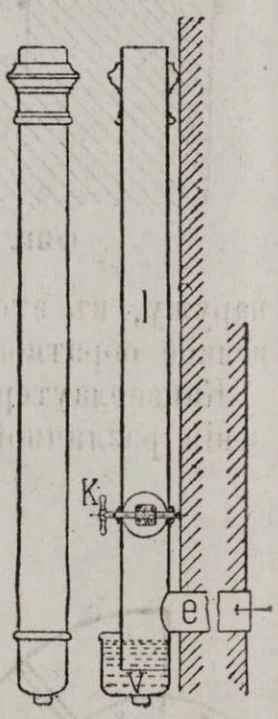
ф. 585.



фиг. 586—587.



фиг. 588.



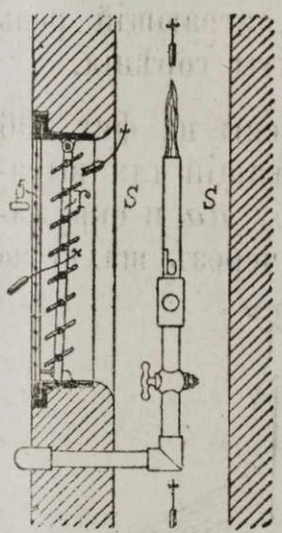
фиг. 589—590.

Какъ видно изъ фиг. 588, клапанъ *в* можно, поворачивая винтъ *g*, болѣе или менѣе приблизить къ фальцу *а*, вслѣдствіе чего открытое сѣченіе сдѣлается больше или меньше.

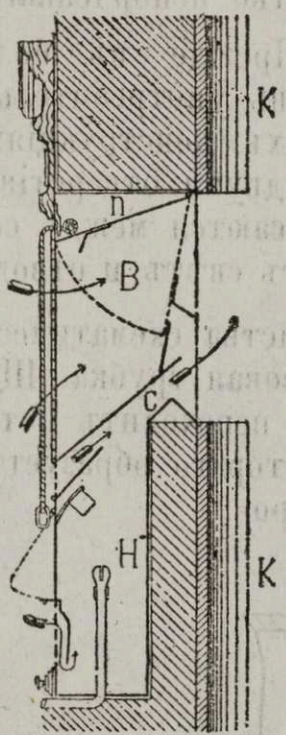
Для ввода холоднаго воздуха Ленпольдъ въ Франкфуртѣ употребляетъ вертикальную трубу (фиг. 589 и 590); регулированіе производится круглой заслонкой *к*; сосудъ съ водой служитъ для увлажненія относительно сухаго воздуха.

4. **Вентиляція съ помощью вытяжныхъ каналовъ.** Вытяжные каналы представляютъ собою воздушныя шахты, въ которыхъ столбъ воздуха нагрѣвается и приводится такимъ образомъ въ движеніе; на верхнемъ концѣ каналы снабжаются всасывающимъ насадкомъ, какъ дымовыя трубы (см. стр. 773 часть II, паровые котлы).

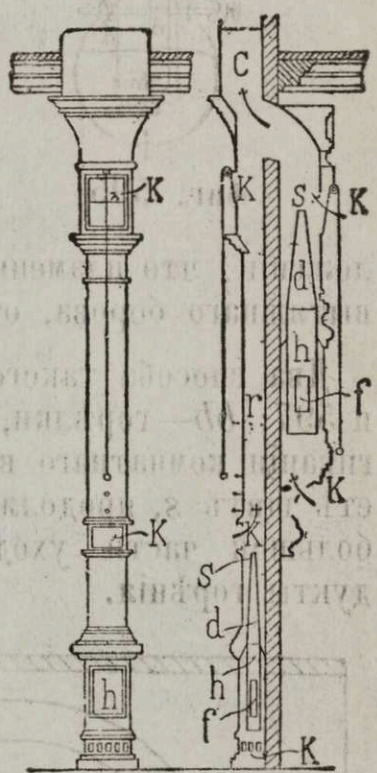
Лучше и проще всего отапливать воздушную шахту свѣтильнымъ газомъ, посредствомъ несвѣтящагося пламени Бунзеновской горѣлки. Можно принять, что такое пламя потребляетъ 0,15—0,22 куб. м. газа; однимъ кубич. метромъ сгорѣвшаго газа можно вытянуть 600 до 800 куб. м. воздуха. На фиг. 591 показано такое устройство. Горѣлка помѣщена прямо противъ отверстія въ дымовой трубѣ, которую слѣдуетъ закрывать дымовою задвижкой. Теплый воздухъ въ шахтѣ идетъ вверхъ, а его мѣсто занимаетъ комнатный воздухъ.



фиг. 591.



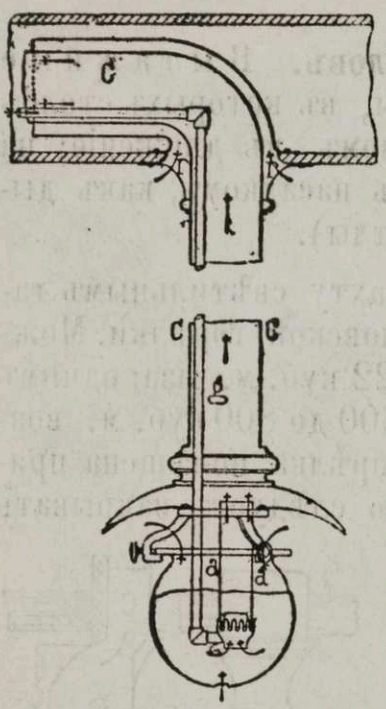
фиг. 592.



фиг. 593—594.

Въ устройствѣ Ленпольда передъ каналомъ *K* имѣется камера *H*, которая нагрѣвается пламенемъ отъ газовой горѣлки; *B*—впускной каналъ, его сѣченіе можно увеличить или уменьшить посредствомъ клапана *n*; продукты горѣнія уходятъ черезъ *c*. Для того, чтобы усилить вентиляцію, въ многолюдныхъ помѣщеніяхъ, фабричныхъ общихъ комнатахъ и т. п., названная фирма употребляетъ устройство, представленное на фиг. 593 и 594. Изъ двухъ сосѣднихъ комнатъ *A* и *B* испорченный воздухъ проводится въ общій каналъ *C*; устройство таково, что въ цилиндрической трубѣ *h* помѣщена горѣлка *f*, снабженная сопломъ *d*; изъ отверстій послѣдняго *s* продукты горѣнія входятъ въ трубу *v* съ большой скоростью. По принципу дѣйствія инжектора частицы воздуха, окружающаго сопло, увлекаются продуктами горѣнія; такимъ образомъ достигается лучшее дѣйствіе, чѣмъ въ томъ случаѣ,

когда пользуются только разностью температуръ. Пространство *A* имѣетъ три выпускныхъ отверстія *K*, пространство *B*—два; сѣченіе этихъ отверстій регулируется клапанами.

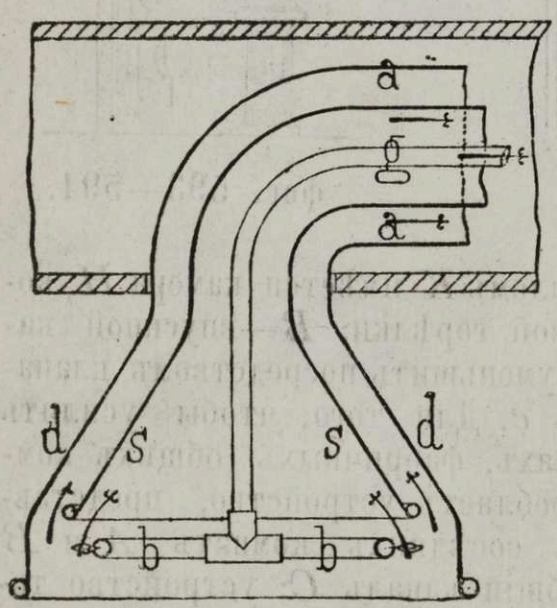


фиг. 595.

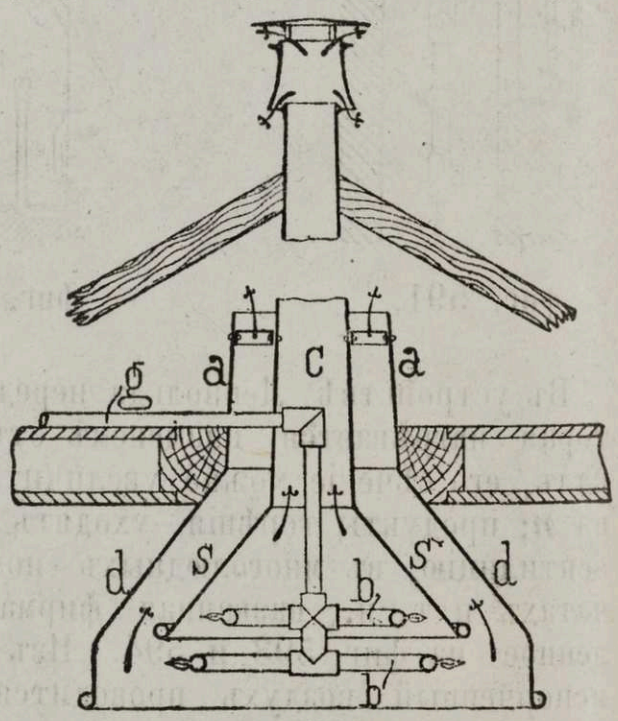
Теплота, производимая освѣщеніемъ, очень удобно употребляется для вентиляціи; такъ употребляютъ (Sonnenbrenner) и вентиляціонные глобусы; такой глобусъ изображенъ на фиг. 595. Обыкновенно горитъ свѣтильный газъ, притекающій черезъ трубу *g* подъ стекло *a*; сюда же вступаетъ воздухъ, необходимый для горѣнія, по направленію, указанному стрѣлками. Продукты горѣнія уходятъ въ трубу *cc*, которая выводитъ ихъ наружу. Такъ какъ смѣсь газовъ *c* значительно теплѣе комнатнаго воздуха, то по направленію стрѣлокъ *v* въ трубу *c* будетъ уходить и значительное количество испорченнаго воздуха.

Прежде въ большихъ помѣщеніяхъ были очень употребительны солнечныя горѣлки. Въ этихъ конструкціяхъ горѣлки разрѣзныя или съ двумя отверстіями находятся въ такомъ положеніи, что пламени прикасаются между собой; щитъ, играющій роль вытяжнаго борова, отражаетъ свѣтъ и отводитъ продукты горѣнія.

Два способа такого устройства схематически изображены на фиг. 596 и 597; *bb*—горѣлки, *q*—газовая трубка. Щитъ *d*, служащій для вытягиванія комнатнаго воздуха, переходитъ потомъ въ трубу *aa* и окружаетъ щитъ *s*, продолженіе котораго образуетъ шахту *c*; черезъ шахту по большой части уходятъ продукты горѣнія.



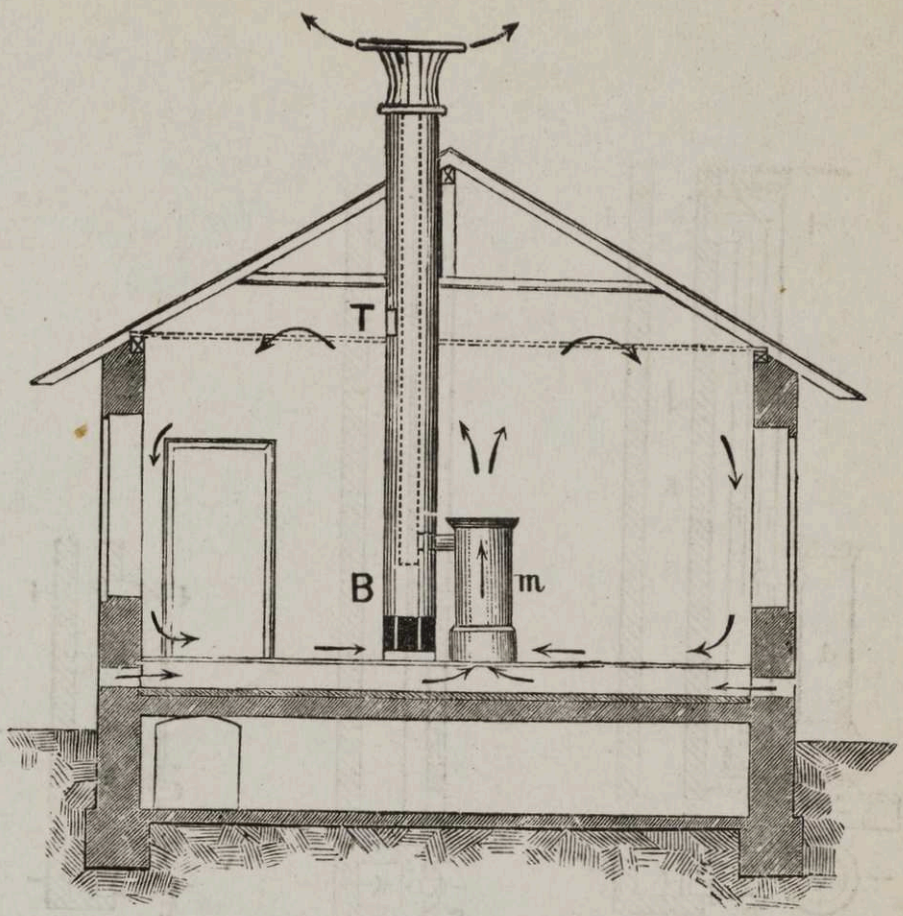
фиг. 596.



фиг. 597.

Очень удобно также пользоваться для вентиляціи печной трубой при комнатномъ отопленіи. Такъ, для отопленія бараковъ, Кайзерлаутернскій заводъ употреблялъ слѣдующее устройство (фиг. 598):

Циркуляціонная печь *m* стоитъ по серединѣ барака, печная труба ведетъ въ вытяжную изъ листоваго желѣза трубу *B*, которая на верхнемъ концѣ, надъ крышей снабжена всасывающимъ насадкомъ. Отверстіе *T* служитъ для чистки печной трубы; задвижка въ нижней части *B* служитъ для втягиванія испорченнаго воздуха.



фиг. 598.

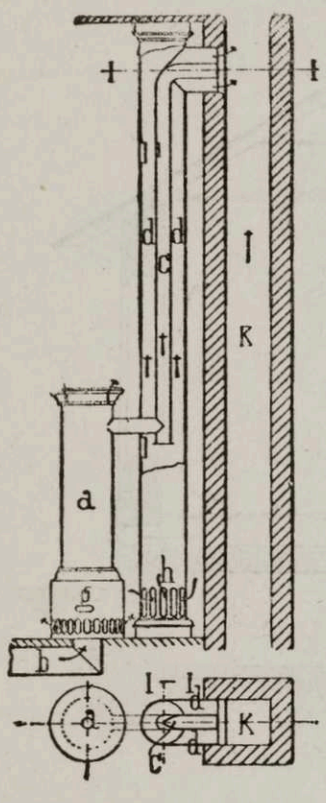
Въ такомъ же родѣ Гебуртъ въ Вѣнѣ устраиваетъ троякимъ способомъ свои приспособленія для вентиляціи. Первый способъ представленъ на фиг. 599—600; *a*—циркуляціонная печь; *b* –каналъ для свѣжаго воздуха, откуда онъ (воздухъ) вступаетъ въ комнату или холоднымъ черезъ регистръ *g*, или нагрѣтымъ въ печи; регулированіе производится посредствомъ регистра *g*. Такое же точно приспособленіе устроено при *h*, откуда комнатный воздухъ входитъ въ вытяжную шахту *d*, окружающую печную трубу *c*; а *d* и *c* соединены далѣе съ дымовой трубой *k*.

Нѣкоторыя измѣненія этого устройства показаны на фиг. 601—602, гдѣ печная труба наполовину застроена въ дымовую трубу, и на фиг. 603—604, гдѣ вентиляціонная труба укорочена.

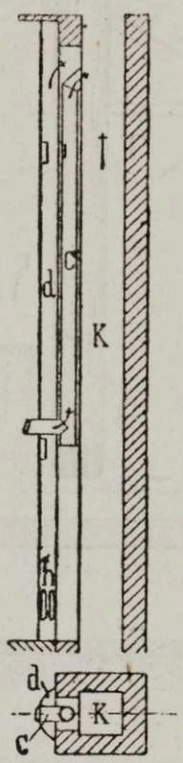
Вмѣсто печныхъ трубъ для нагрѣванія вытяжныхъ шахтъ пользуются также змѣевиками, проводящими паръ или горячую воду и баттареями съ теплой водой; такъ, на фиг. 605 и 606 и фиг. 607—608 показаны нѣкоторыя устройства такого рода. Иногда употребляютъ кошельковые камины.

Если количество теплоты, нужное для вентиляціи, значительно и притомъ требуется постоянная вентиляція, то устраиваютъ особыя печи возлѣ или внутри вытяжныхъ трубъ, какъ это изображено на фиг. 609 и 610; первое устройство назначено для вентилированія выгребной ямы; *a*—труба для спуска нечистотъ, *g*—яма, *s*—вытяжная шахта, въ которую открывается печная труба *o*.

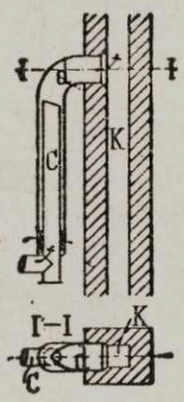
5. Вентиляція посредствомъ вдуванія. Какъ уже раньше было сказано, вентиляція посредствомъ вентиляторовъ, приводимыхъ въ движе-



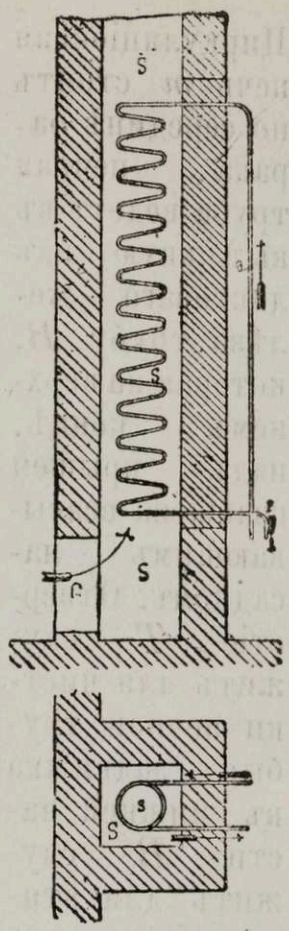
фиг. 599—600.



фиг. 601—602.

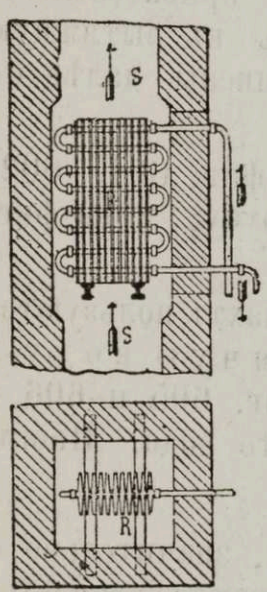


фиг. 603—604.

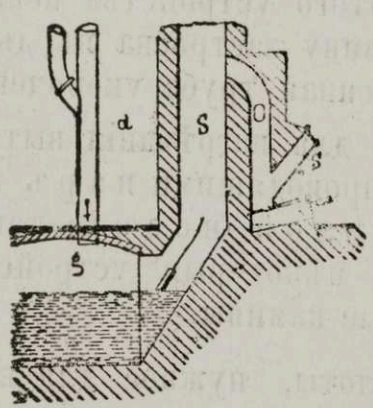


фиг. 605—606.

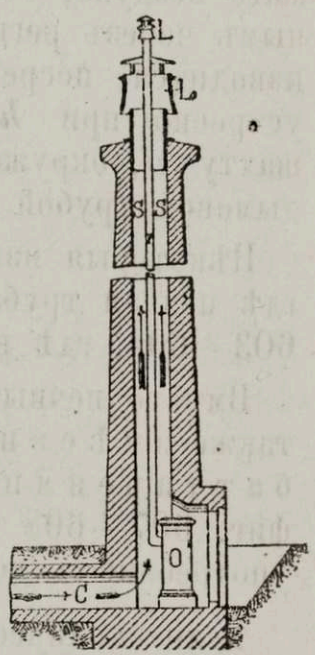
ніе машинами, употребляется только для большихъ зданій или для фабрикъ, гдѣ получаются вредные для здоровья пары, да еще тамъ, гдѣ требуется опредѣленное количество воздуха; эта система вентиля-



фиг. 607—608.



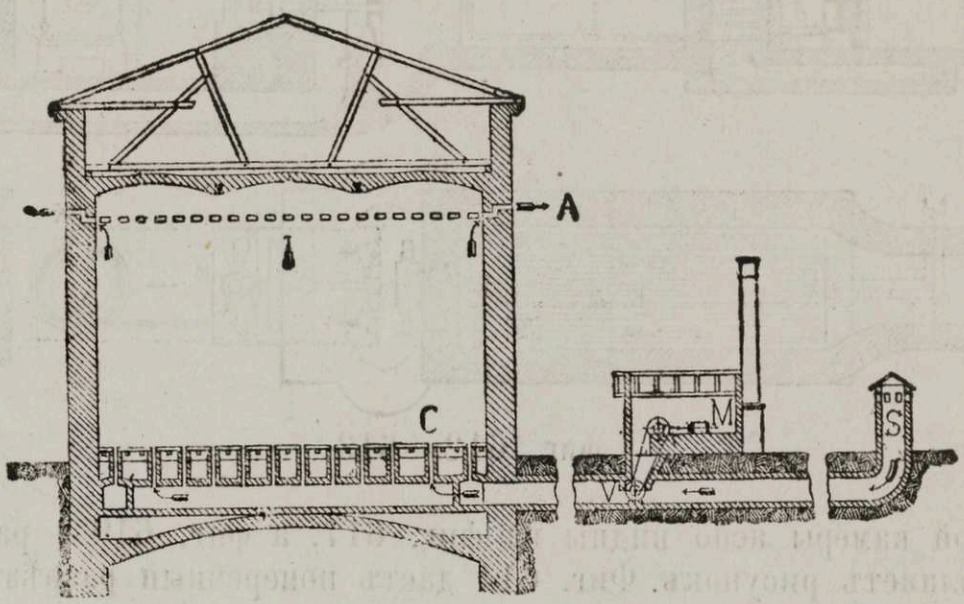
фиг. 609.



фиг. 610.

ціи очень надежна, между тѣмъ какъ система вытягиванія, основанная на разности температуръ, часто отказывается служить въ жаркое лѣто. Обыкновенно сводятъ всѣ каналы въ одинъ общій и изъ послѣдняго помощью вентилятора вытягиваютъ воздухъ. Полезное дѣйствіе увели-

чивается, если вытягиваемый воздухъ теплѣе наружнаго. И обратно, помощью вентилятора можно воздухъ вогнать въ помѣщеніе, какъ это схематически изображено на фиг. 611. *S*—сборный каналъ для свѣжаго воздуха, устраиваемый въ саду и т. п. *M*—машинное отдѣленіе, *v*—вентиляторъ въ сборномъ каналѣ, *C*—впускные каналы и *A*—выпускные.



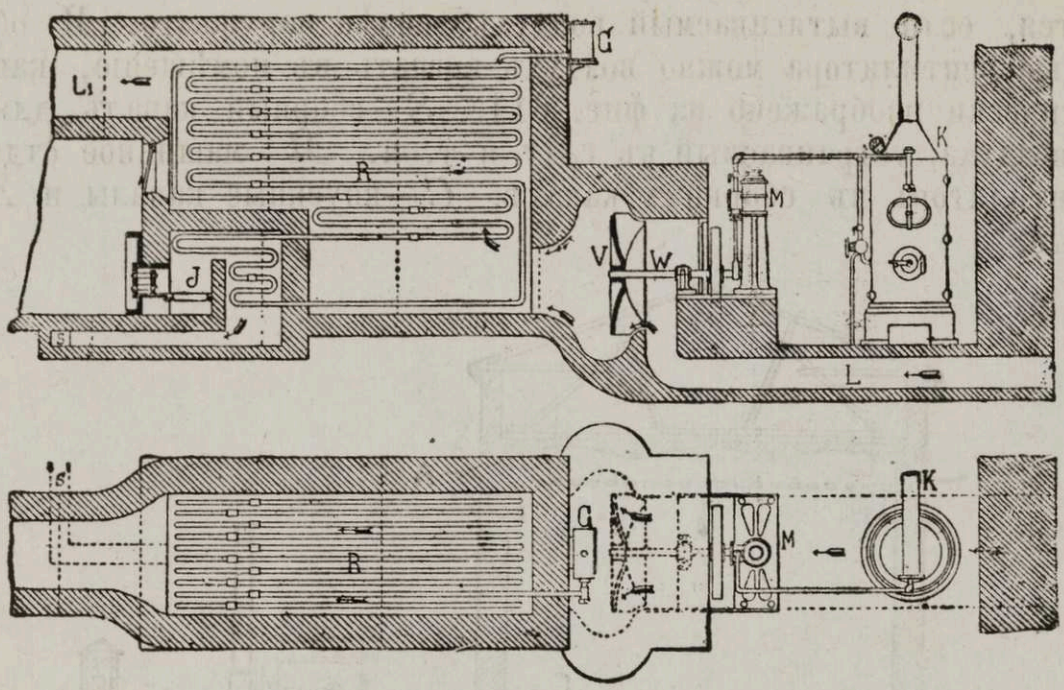
фиг. 611.

При вдуваніи, такъ-же какъ и при вытягиваніи, нужно заботиться о томъ, чтобы выводящія трубы не были совсѣмъ холодны, потому что иначе, несмотря на вдувающіе вентиляторы, холодный воздухъ будетъ все же стремиться итти внизъ. Выводные каналы могли бы совершенно отсутствовать, благодаря проницаемости стѣнъ, тѣмъ не менѣе однако лучше дать воздуху опредѣленное направленіе черезъ нагрѣтые выводные каналы. Удобно также всегда употреблять умѣренное вытягиваніе, дѣйствіе котораго можно увеличить посредствомъ всасывающаго насадка на верхній конецъ трубы.

Вентиляторы, служащіе для вдуванія, суть тѣ самые, которые употребляются для всякаго рода воздуходувныхъ машинъ.

Расположеніе машинъ при вентиляціонномъ отопленіи съ трубами для горячей воды (система Бакона) показано на фиг. 612—613. *K*—котелъ, доставляющій паръ въ машину *M*; отсюда приводится во вращеніе валъ *W*, на которомъ сидитъ вентиляторъ *V*. Вдуваемый посредствомъ вентилятора воздухъ между горячими трубами *R* втягивается изъ канала *L* и гонится въ нагрѣтомъ состояніи черезъ каналъ *L*, въ комнаты. *J*—пространство печи, въ которомъ лежитъ часть трубчатой спирали, *s*—дымовая труба. Буквой *G* означенъ сосудъ для расширенія, употребляемый при отопленіи горячей водой.

181. Отопленіе въ соединеній съ вентиляціею. 1) Вентиляція въ соединеніи съ воздушнымъ отопленіемъ. Воздушное отопленіе съ вентиляціею для жилаго дома изображено на фиг. 614 до 619; оно построено Кауфманомъ, Людвигсгафенъ. Строеніе двухъ этажное; на фиг. 615 планъ перваго; фиг. 616 планъ втораго этажа; фиг. 618 подвальный этажъ. Каналы нагрѣ-



фиг. 612—613.

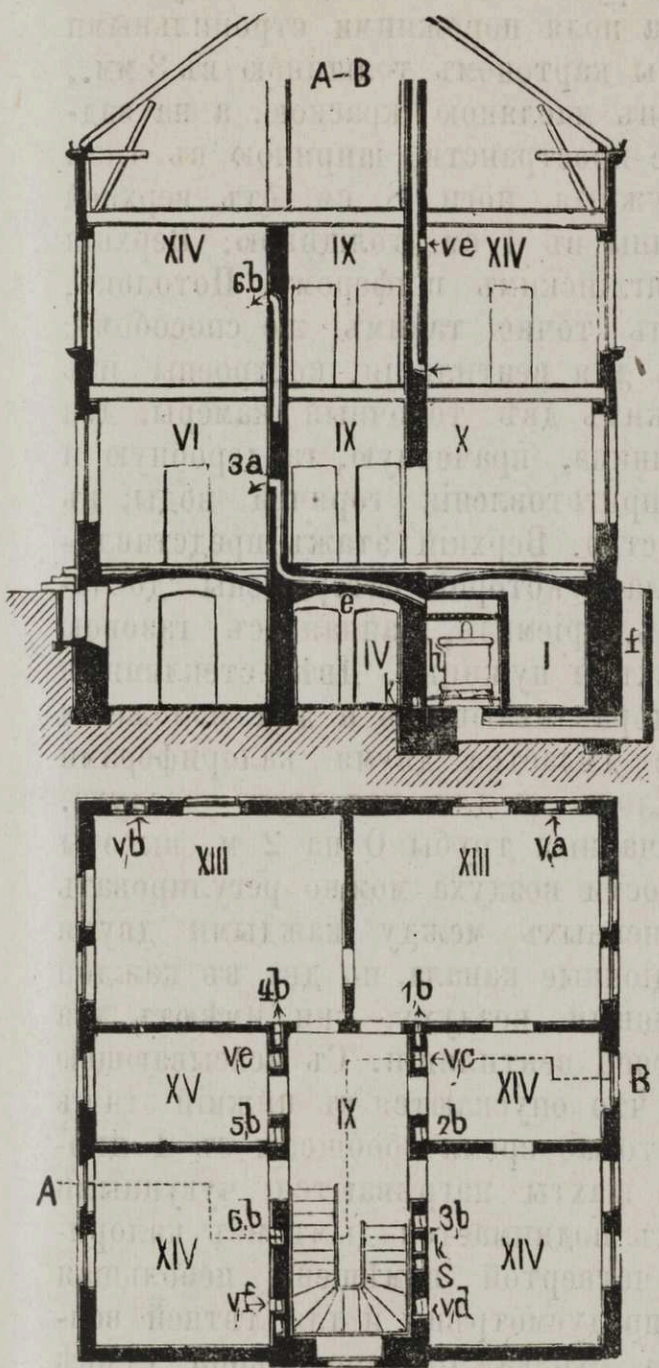
вательной камеры ясно видны на фиг. 617, а фиг. 619 — разрѣзъ по *xy* дополняетъ рисунокъ. Фиг. 614 даетъ поперечный разрѣзъ по линіи *AB*. Римскія цифры обозначаютъ:

I. Топочное пространство.	VI. Рабочій кабинетъ.	XI. Кладовая.
II. Помѣщеніе для топлива.	VII. Жилая комната.	XII. Отхожее мѣсто.
III. Подвалъ для хозяйства.	VIII. Столовая.	XIII. Гостинная.
IV. Лѣстница.	IX. Лѣстница.	XIV. Спальня.
V. Входъ.	X. Кухня.	XV. Пріемная.

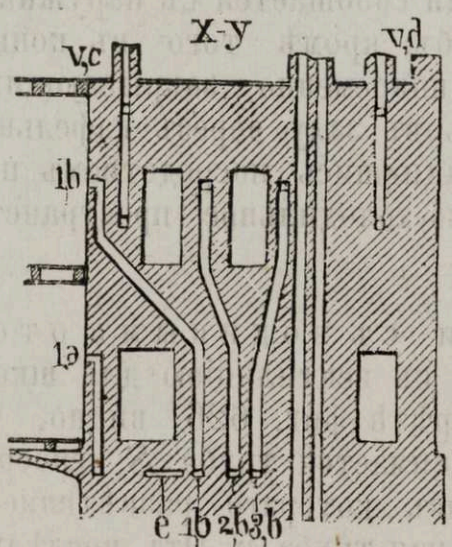
k труба для отвода дыма изъ отапливающей печи; *s* кухонная дымовая труба. Холодный свѣжій воздухъ стремится по каналу *f* въ печное помѣщеніе, нагрѣвается въ немъ и затѣмъ входитъ въ распредѣлительные каналы *e*. Тепловые каналы 1*a* до 3*a* ведутъ теплый воздухъ въ партеръ, 1*b* до 6*b* въ первый этажъ. Испорченный воздухъ удаляется по вентиляціоннымъ шахтамъ, которыя снабжены всасывателями воздуха; v_1 до v_3 шахты для партера, v_a до *vf* для перваго этажа. Каждая шахта имѣетъ два отверстія, первое на 0,2 м. отъ потолка для вентиляціи лѣтомъ, а другое на 0,4 м. отъ пола для зимней вентиляціи. Каналы имѣютъ слѣдующіе размѣры:

1*a*, 2*a*	= 16 . 31 см.	6*b*	= 16 . 21 см.
3*a*, 1*b*, 4*b*	= 16 . 26 см.	v_1, v_c, v_e	= 21 . 16 см.
2*b*, 5*b*	= 16 . 16 см.	*v*2, *v*3, v_a, v_b	= 16 . 26 см.
3*b*	= 16 . 19 см.	v_d, *vf*	= 16 . 21 см.

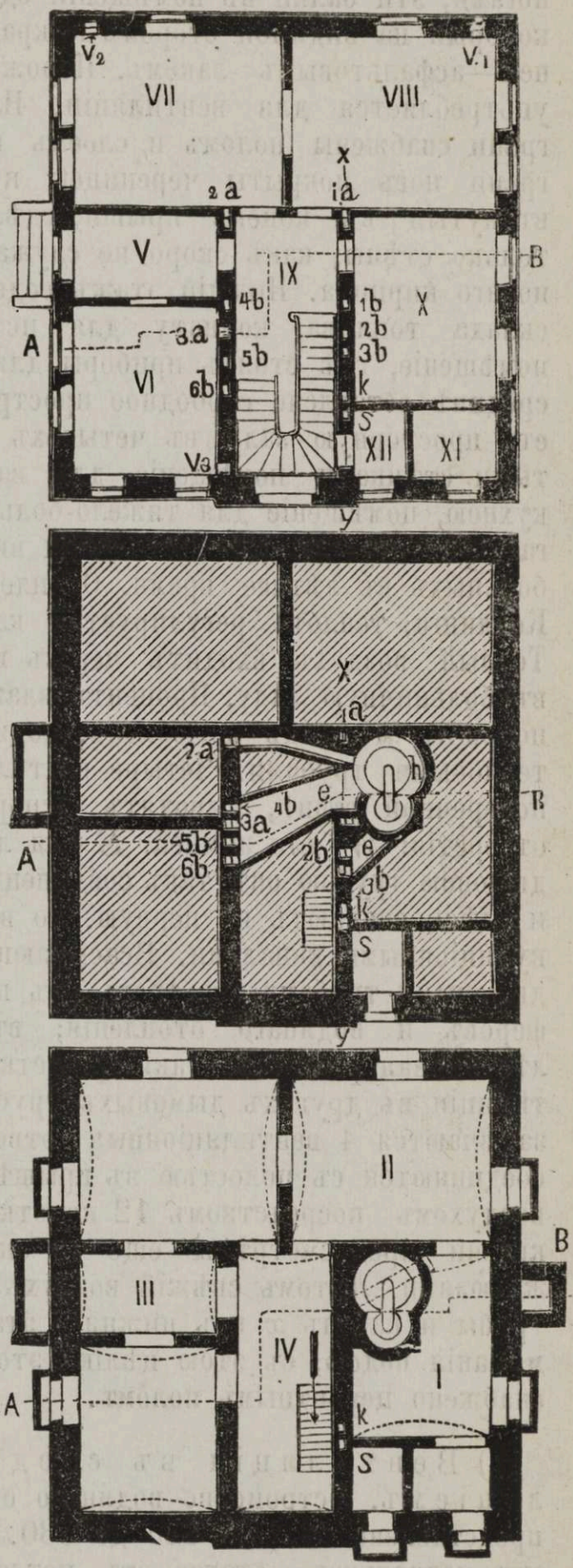
Воздушное отопленіе въ соединеніи съ вентиляціею, устроенное въ павильонахъ Дрезденской больницы и заимствованное изъ Deutschen Bauzeitung 1872, изображено на фиг. 620 до 625. Подвалъ, изображенный на фиг. 625 въ планѣ, а на фиг. 620 и 623 въ поперечномъ и продольномъ разрѣзахъ, высотою 2,75 м., построенъ изъ песчаника, покрытъ сводомъ и вполнѣ изолированъ. Полъ верхняго этажа состоитъ изъ досокъ, которыя не употреблялись только надъ топочною камерою и для лучшаго сохраненія положены въ соль и шлакъ,



фиг. 614—615.



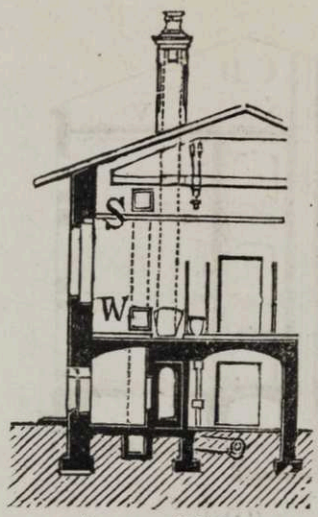
фиг. 619.



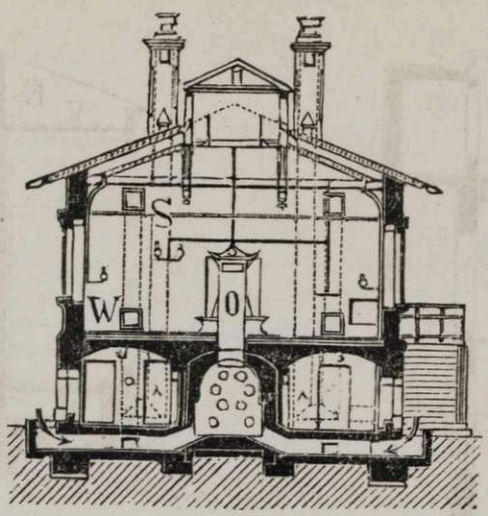
фиг. 616—618.

Крыша устроена въ видѣ подвѣснаго сооруженія и площадь между каждыми двумя бабками раздѣлена на два поля порожними стропильными ногами; эти балки въ помѣщеніи одѣты картономъ толщиною въ 3 мм., который на видимой сторонѣ выкрашенъ масляною краскою, а на задней—асфальтовымъ лакомъ. Порожнее пространство шириною въ 4 см. употребляется для вентиляціи. Наружныя ноги 8 см. отъ верхней грани снабжены поломъ и слоемъ глины въ 4 см. толщиною. Верхнія грани ногъ покрыты черепицею и англійскимъ шиферомъ. Потолокъ, втянутый въ конекъ крыши, сдѣланъ точно такимъ же способомъ; только стѣны, какъ скоро не служатъ для вентиляціи, построены изъ полаго кирпича. Нижній этажъ содержитъ двѣ топочныя камеры, два склада топлива, комнату для истопника, прачечную, гардеробную и помѣщеніе, гдѣ стоятъ приборы для приготовленія горячей воды; въ срединѣ оставлено свободное пространство. Верхній этажъ представляетъ просторную залу, въ четырехъ углахъ которой отгорожены досчатыми стѣнками помѣщеніе для ваннъ, пріемная, чайная съ газовою кухнею, помѣщеніе для тяжело-больныхъ и нужникъ. Двѣ стеклянныя галлереи служатъ для помѣщенія выздоравливающихъ и для положенія больныхъ въ лѣтнее время. Отопленіе дѣлается двумя калориферами Келлинга; теплота регулируется каналомъ x для холоднаго воздуха. Теплый воздухъ входитъ черезъ гончарныя трубы 0 на 2 м. высоты въ больничную залу. Процентъ влажности воздуха можно регулировать помощію мѣдныхъ желобковъ, подвѣшенныхъ между каждыми двумя тепловыми трубами. Четыре вентиляціонные канала, по два въ каждой поперечной стѣнѣ, выводятъ испорченный воздухъ; они имѣютъ два отверстія: W для зимней, S для лѣтней вентиляціи. Съ всасывающею дымовою трубою онѣ такъ соединены, что опускаются въ нижній этажъ и здѣсь впадаютъ въ первую, но въ то-же время сообщены съ 4 циркуляціонными каналами. Всасывающія шахты нагрѣваются чугунными дымовыми трубами; въ трехъ изъ нихъ поднимается дымъ изъ калориферовъ и водянаго отопленія; въ четвертой помѣщена небольшая лѣстничная рѣшетка. Такія рѣшетки предусмотрѣны и для лѣтней вентиляціи въ другихъ дымовыхъ трубахъ. Въ каждой продольной стѣнѣ замѣчаются 4 вентиляціонныя отверстія, которыя помощію каналовъ соединяются съ полостью въ крышѣ, которая сообщается съ наружнымъ воздухомъ посредствомъ 12 короткихъ трубъ; кромѣ того въ конькѣ крыши предусмотрѣны еще 10 оконъ, одновременно закрывающихся жалюзями. Лѣтомъ свѣжій воздухъ входитъ въ залу черезъ кафельныя трубы и каналъ x изъ нижняго этажа охладившись посредствомъ промыванія водою; съ этою цѣлію это воздухо-холодильное пространство снабжено цементнымъ поломъ.

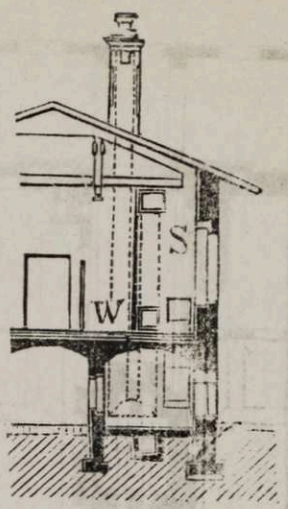
2) Вентиляція въ соединеніи съ водянымъ отопленіемъ. Устройство водянаго отопленія съ вентиляціею для школы представлено на фиг. 626 до 630. На разрѣзѣ фиг. 626 видно, что изъ подвальнаго этажа отъ котла K поднимается труба S непосредственно до расширительнаго бассейна E, изъ котораго развѣтвляется помощію хорошо укутанная распредѣлительная труба v. Отъ послѣдней идутъ всѣ остальныя тепловыя трубы, проходятъ по корридорамъ отдѣльныхъ этажей внизъ до пола нижняго этажа, гдѣ соединяются



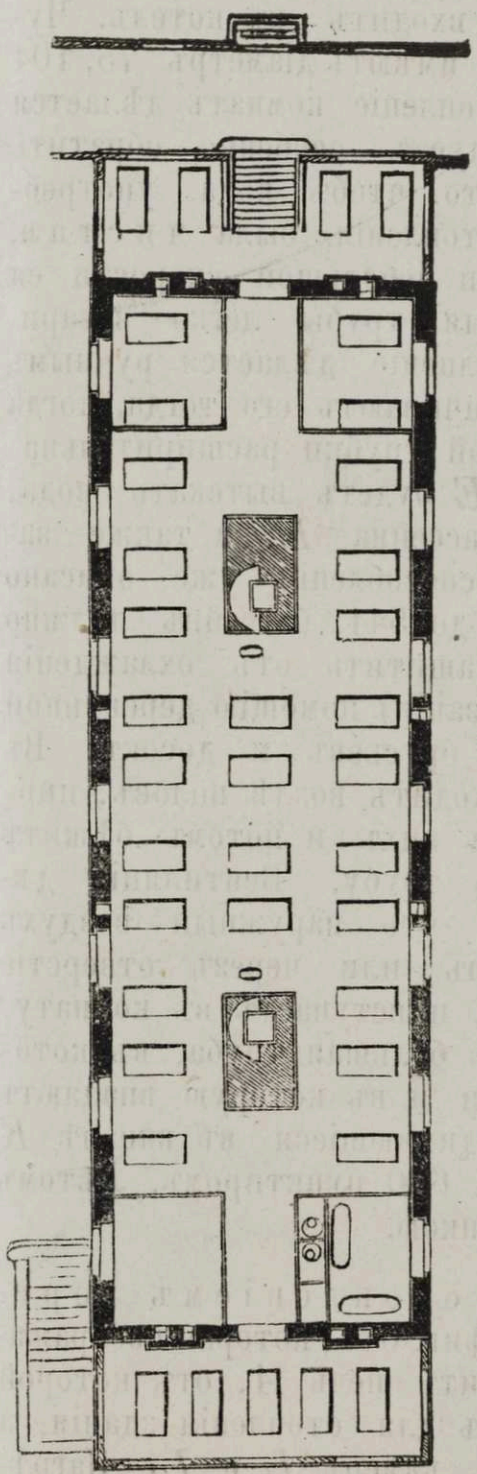
фиг. 621.



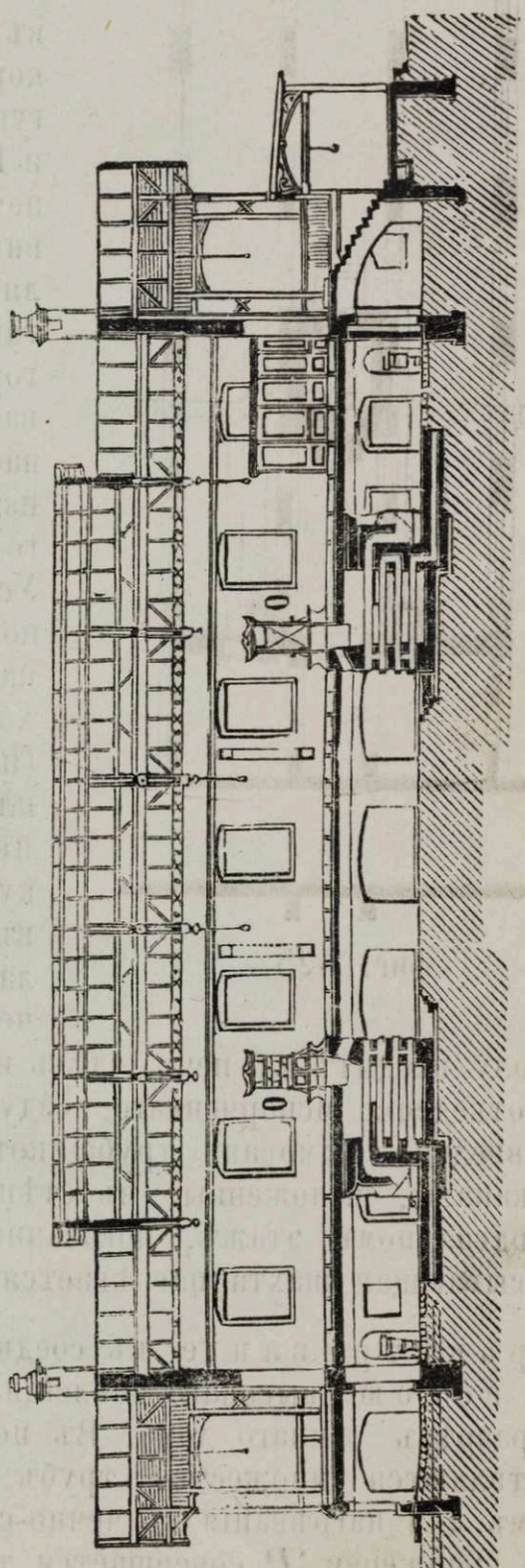
фиг. 620.



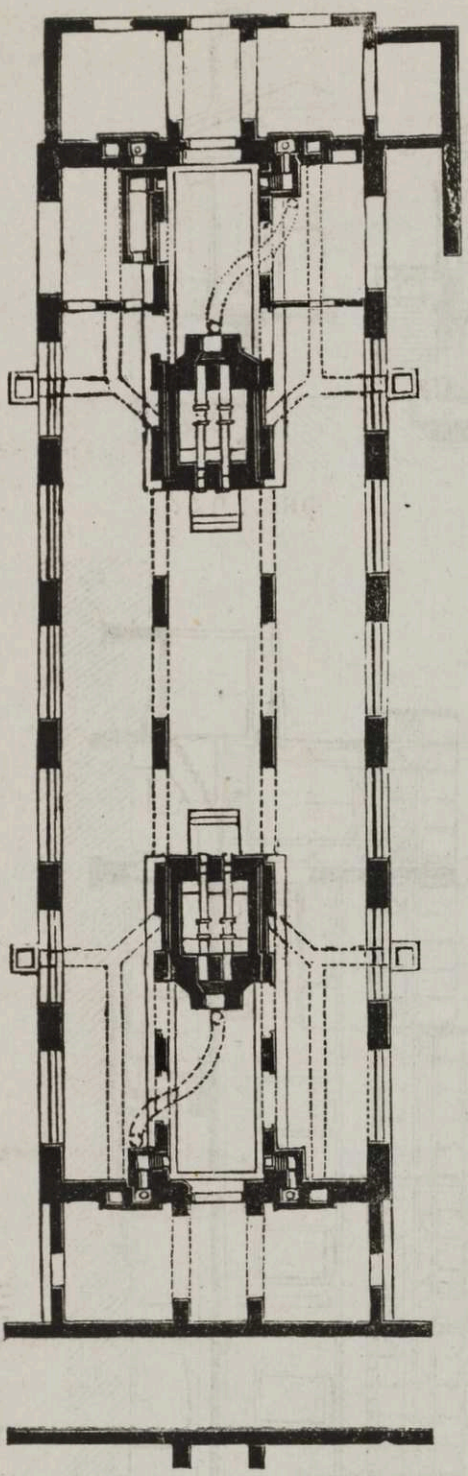
фиг. 622.



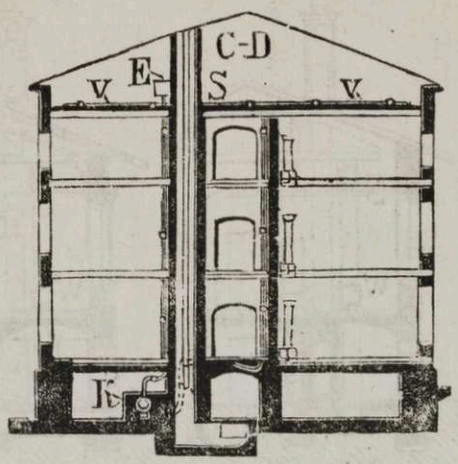
фиг. 624.



фиг. 623.



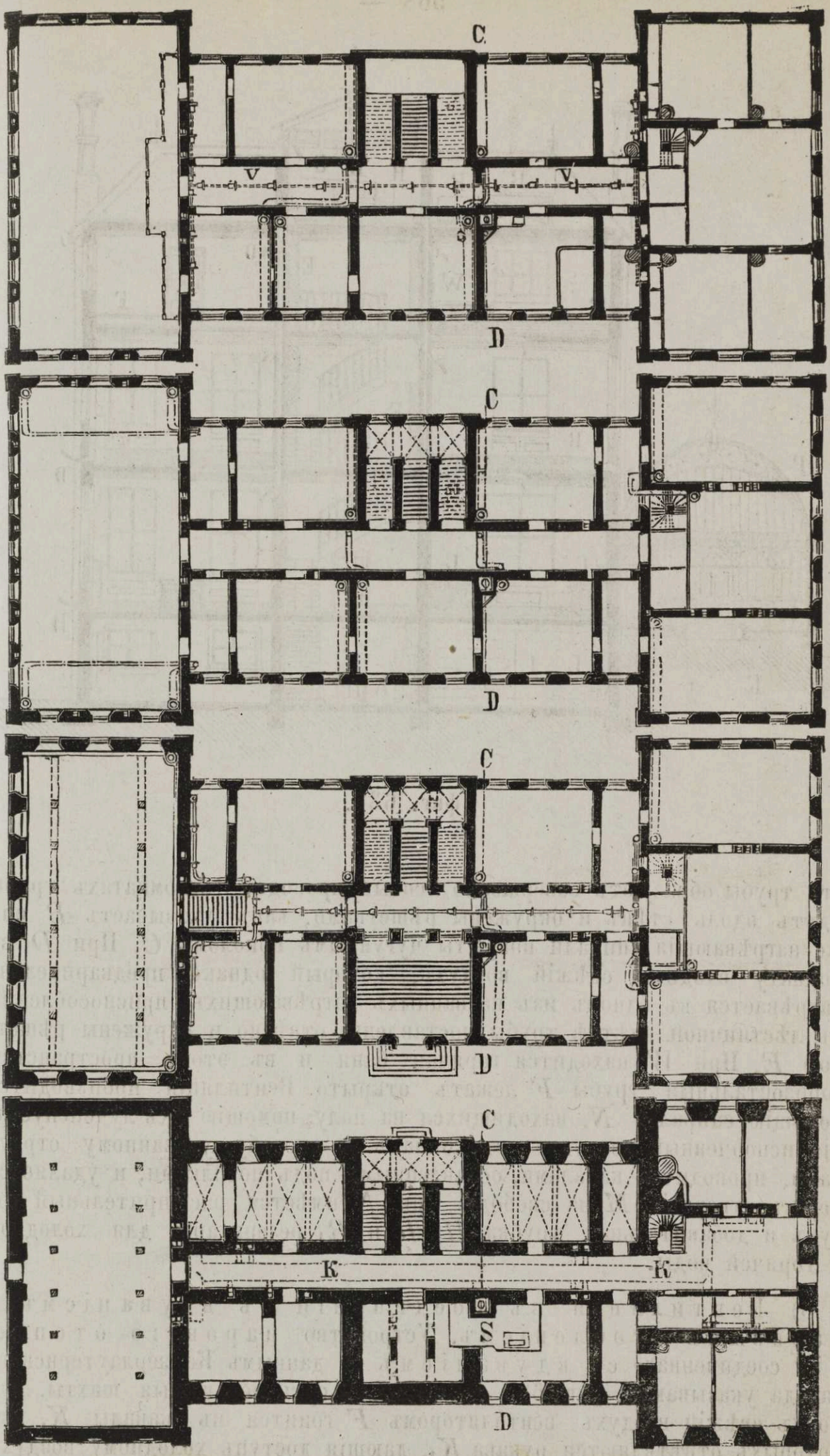
фиг. 625.



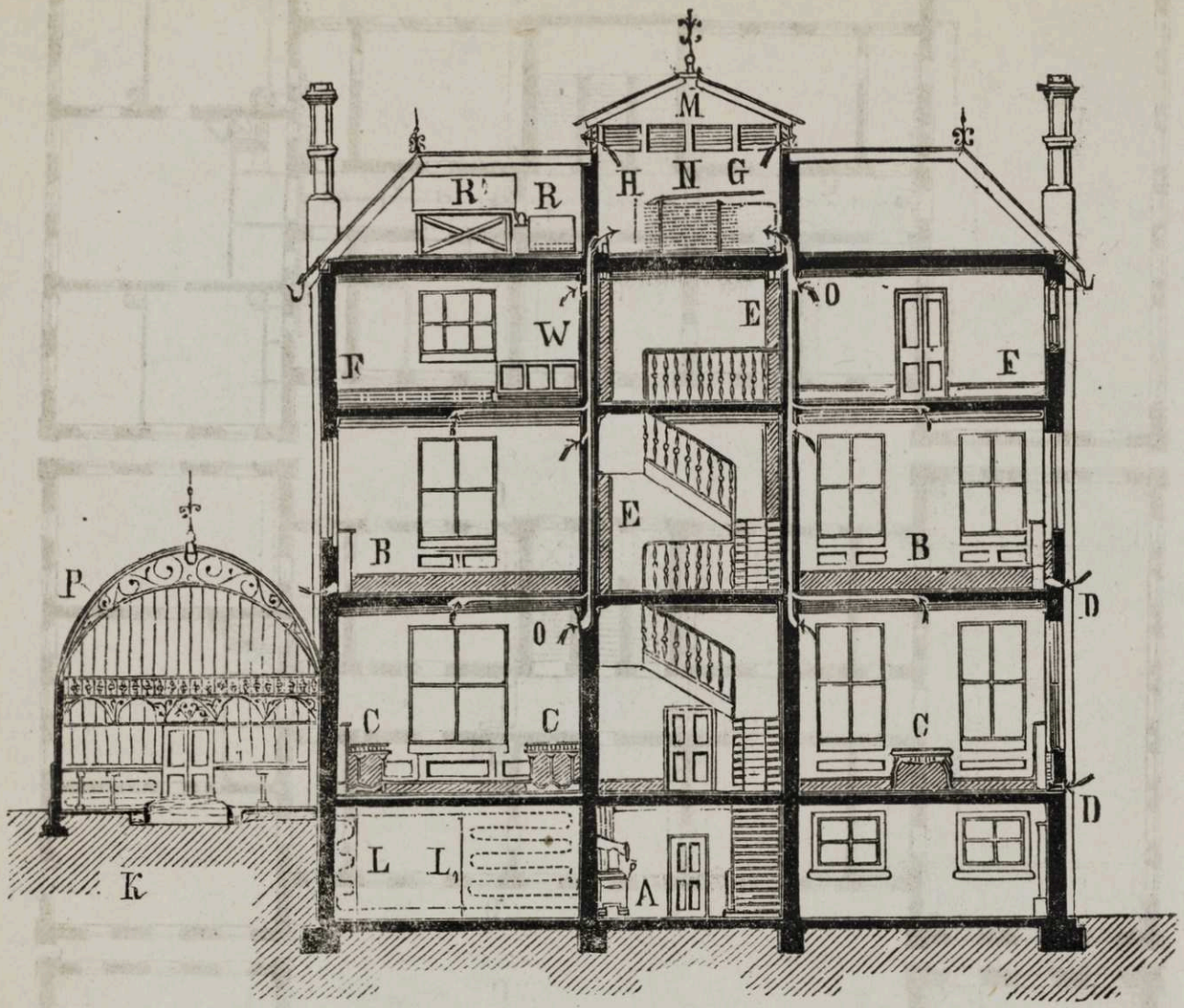
фиг. 626.

въ отводную трубу, которая идетъ вдоль корридора и входитъ въ котелъ. Чугунныя трубы имѣютъ діаметръ 75, 104 и 125 мм.; отопленіе комнатъ дѣлается печами. Слѣдуетъ особенно обратить вниманіе на то, чтобъ вода, употребляемая для отопленія, была чистая, такъ какъ при небольшой скорости ея горизонтальныя трубы легко засариваются. Наполненіе дѣлается ручнымъ насосомъ; оканчиваютъ его тогда, когда изъ сигнальной трубки расширительнаго бассейна *E* будетъ вытекать вода. Устройство бассейна *E*, а также запорныхъ приспособленій уже описано на фиг. 538 до 541; бассейнъ должно хорошенько защитить отъ охлажденія (и отъ замерзанія) помощію деревянной клѣтки изъ брусьевъ и досокъ. Въ печи вода входитъ возлѣ половъ, циркулируетъ въ нихъ и потомъ бѣжитъ въ отводную трубу. Вентиляція дѣлается такъ, что наружный воздухъ черезъ каналъ или черезъ отверстіе въ полу входитъ въ печь, здѣсь нагрѣвается и вступаетъ въ комнату. Для отведенія испорченнаго воздуха служитъ большая труба, въ которую введена дымовая труба котловой печи и въ которую впадаютъ всѣ каналы, выложенные въ стѣнкахъ и соединяющіеся въ каналѣ *K* въ подвальномъ этажѣ, показанный на фиг. 630 пунктиромъ. Лѣтомъ высасывающая шахта нагрѣвается особою тонкою.

Провѣтриваніе въ соединеніи съ отопленіемъ горячею водою (высокаго давленія) видно на фиг. 631, которая изображаетъ разрѣзъ жилаго дома. Въ подвалѣ стоитъ печь *A*, отъ которой отвѣтвляются множество трубъ во первыхъ для отопленія зданія, а затѣмъ для нагрѣванія прачечно-сушильныхъ камеръ *L* и L_1. Нагрѣваніе оранжереи *P* совершается трубами *KK*, лежащими въ каналахъ;



фиг. 627—630.

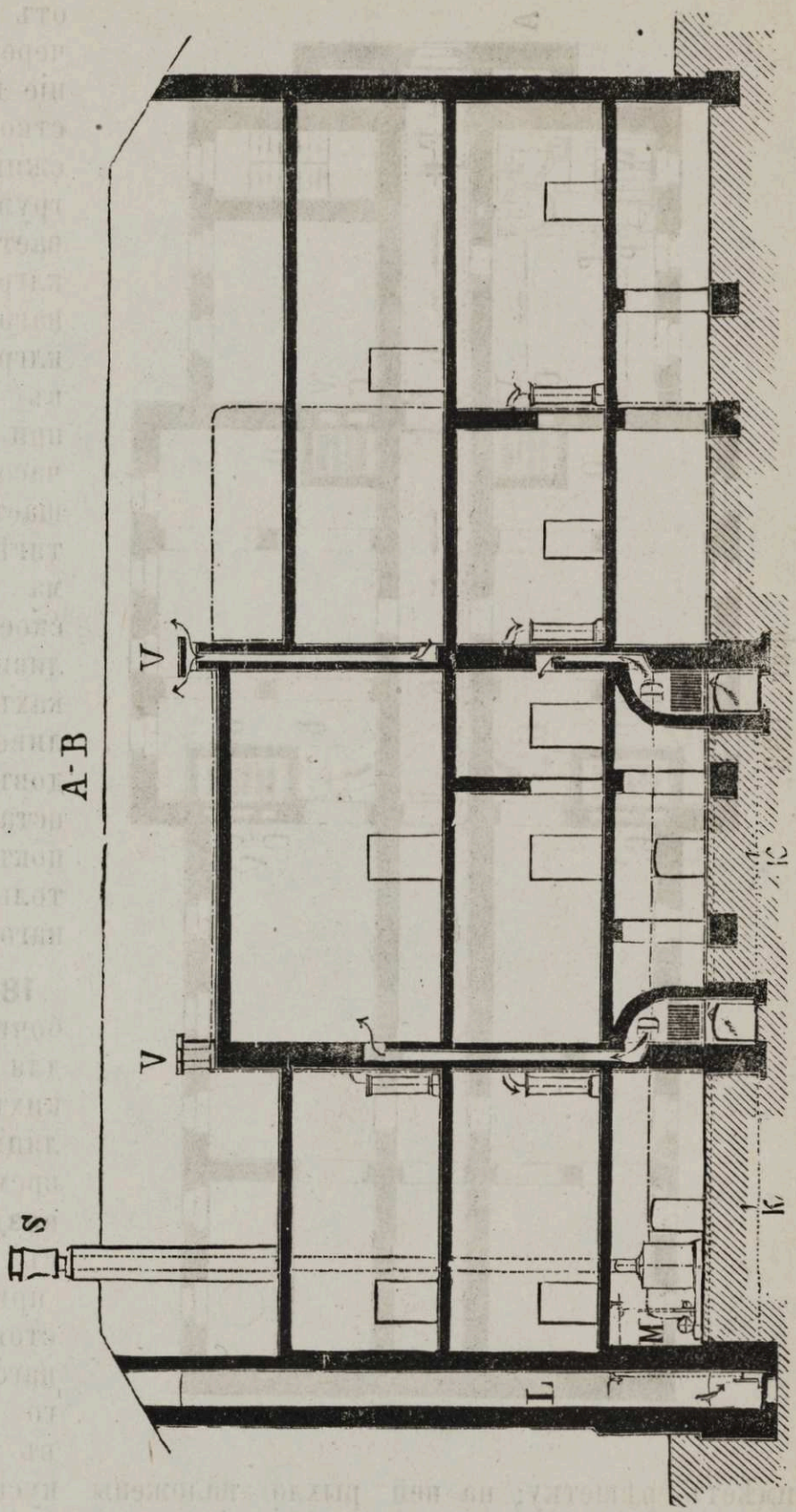


фиг. 631.

эти трубы образуютъ совершенно особый проводъ. Въ комнатахъ трубы идутъ вдоль стѣнъ и окружены рѣшетками, какъ указываетъ *B* или же нагрѣвающія спирали покрыты чугуннымъ цоколомъ *C*. При *D* въ комнату входитъ свѣжій воздухъ, который однако предварительно нагрѣвается въ одномъ изъ названныхъ нагрѣвающихъ приспособленій; въ лѣстничной клѣткѣ трубы поставлены отвѣсно и окружены рѣшеткою *E*. При *W* находится горячая баня и въ этомъ пространствѣ горизонтальныя трубы *F* лежатъ открыто. Вентиляція производится помощію спиралей *N*, находящихся на полу; помощію ихъ лучеиспусканія испорченный воздухъ изъ комнатъ по способу, указанному стрѣлками, проводится каналами, оставленными подъ потолками, и удаляется черезъ отверстія *M* на свободу. При *N* имѣется расширительный сосудъ и добавительная трубка *H*; *R* и R_1 резервуары для холодной и горячей воды.

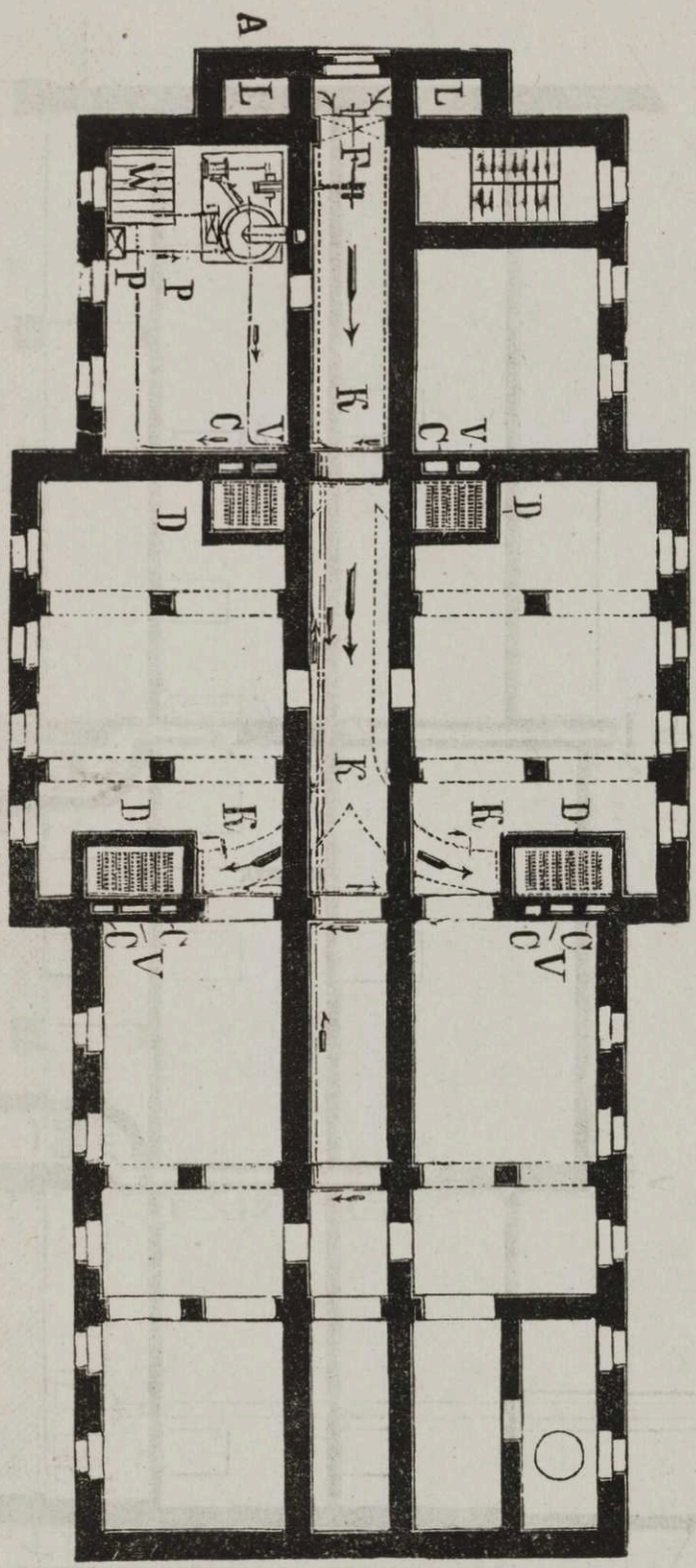
3) Вентиляція въ соединеніи съ вдуваніемъ и паровымъ отопленіемъ. Устройство пароваго отопленія соединеннаго съ вдуваніемъ по даннымъ Кайзерлаутернскаго завода указываютъ фиг. 632 и 633. *LL* суть воздушныя шахты, изъ коихъ свѣжій воздухъ вентиляторомъ *F* гонится въ каналы *K*, изъ которыхъ отвѣтвляются рукава K_1, дающія доступъ холодному воздуху

къ нагрѣвающимъ спиралямъ *D*; дальнѣйшее отопленіе въ комнатахъ производится печами. *M*—машинное и котловое помѣщеніе; *P* и P_1 паровой и ручной насосы, *W* бассейнъ. Паръ имѣетъ путь, указанный на рисункѣ стрѣлками. Воздухъ, который нагрѣлся при *D*, поднимается по каналамъ въ среднихъ стѣнахъ, тогда какъ черезъ шахты *V* отводится испорченный воздухъ. Чердакъ вентилируется при помощи дымовой трубы *S*.



фиг. 632.

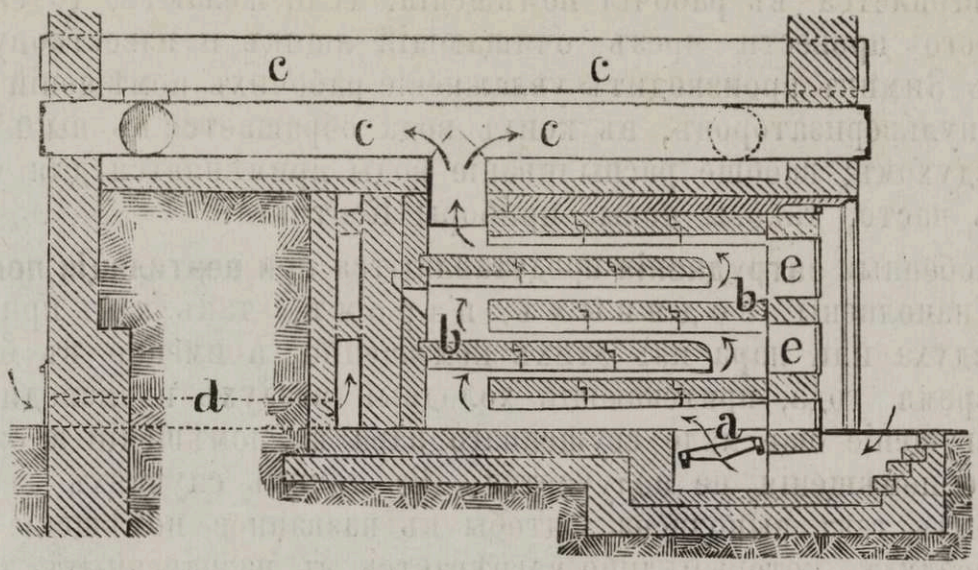
182. Этажная печь Мишеля Перре (Робенъ въ Парижѣ). Обыкновенные калориферы можно съ выгодою замѣнить печами Перре съ нѣсколькими этажами (фиг. 634). Топливо забрасываютъ тонкими слоями на огнеупорные сводики *bb* и по временамъ заставляютъ его помощію кочерги опускаться изъ одного этажа въ другой, нагружая снова верхній этажъ. Нижній этажъ есть зольникъ: рѣшетка *a* служитъ только для растопки, которая продолжается до раскаливанія до красна всѣхъ внутреннихъ стѣнокъ, а потомъ нагружаютъ топливо. Горячіе газы, оставляя топку, входятъ въ трубы *cc*, вокругъ которыхъ двигается нагрѣваемый воздухъ, притекающій черезъ каналъ *d*. Можно нагрѣвать до 300° воздухъ, притекающій въ топку помощію рекуперації (возвращенія теплоты), заставляя его сначала двигаться вокругъ стѣнокъ топки. Работы повторяются чрезъ промежутки времени, измѣняющіеся



фиг 633.

отъ 6 до 24 часовъ, и черезъ дверцы *e*. Горѣніе непрерывное; количество чистаго топлива, сжигаемое на кв. м. нагружаемаго этажа, бываетъ въ часъ отъ 2 клгр. при промежуткахъ нагрузки въ 24 часа, 4 клгр. при промежуткахъ въ 12 часовъ, 8 клгр. при промежуткахъ въ 8 часовъ. Горѣніе совершается при очень слабой тягѣ; оно бываетъ весьма полное и методическое. Можно также утилизировать въ этихъ топкахъ самое плохое топливо, нагаръ изъ заводовъ, паровозную сажу, остатки отъ всякихъ топокъ, даже содержащія только 25% дѣйствительнаго топлива.

183. Для нѣкоторыхъ рабочихъ помѣщеній (напр. для прядиленъ и ткацкихъ) вмѣстѣ съ вентиляціею требуется одновременно и **увлажненіе воздуха;** для этого можно съ успѣхомъ примѣнить приборъ Кертинга, состоящій изъ вертикальнаго закрытаго желѣзнаго цилиндра, который въ нижней своей части имѣетъ рѣшетку; на ней рыхло наложены куски кокса или пемзы, которые и наполняютъ большую часть цилиндра. Въ верхней части цилиндра имѣется трубка съ дождикомъ, а подъ рѣшетку введена широкая труба отъ пароструйнаго вентилятора. Когда приборъ работаетъ, то вентиляторъ гонитъ свѣжій воздухъ въ цилиндръ, изъ коего онъ выходитъ уже чрезъ особую трубу, находящуюся въ верхней части онаго, въ вентилируемое рабочее помѣщеніе; но въ то же время черезъ дождикъ входитъ вода, разбитая на мелкія струйки, и смачиваетъ содержимое цилиндра, то стремящійся вверхъ воздухъ выходитъ насыщеннымъ влагою. Для отвода лишней воды подъ рѣшеткой находится сифонная трубка.



фиг. 634.

Въ новѣйшее время начали также производить вентиляцію рабочихъ помѣщеній помощію сгущеннаго воздуха и употреблять для этой цѣли насосы. Такое приспособленіе находится, напримѣръ, у Дольфуса, Мигъ и К° въ Мюльгаузенѣ, которое работаетъ весьма хорошо. Сгущенный воздухъ помощію особаго двигаемаго паровою машиною двудѣйствующаго насоса, съ поршнемъ около 0,55 м. и ходомъ 0,54 м., вводится посредствомъ трубъ въ соотвѣтственно расположенные каналы въ стѣнахъ рабочихъ помѣщеній и стремится изъ нихъ въ вентилируемыя залы, при чемъ, для увлажненія а также для охлажденія воздуха, къ струѣ онаго подводится помощію тонкой трубки вода, тогда какъ дурной воздухъ отводится подобными же каналами. Производительность насоса такова, что по сдѣланнымъ опытамъ въ рабочее помѣщеніе около 3000 куб. м. доставляется въ часъ около 9000 куб. м. свѣжаго воздуха, каковое количество дѣлаетъ пребываніе въ этихъ помѣщеніяхъ здоровымъ и пріятнымъ. Здѣсь можно упомянуть еще о томъ, что Гильдебрандтъ не только производитъ подведеніе свѣжаго или здороваго воздуха, но въ болѣе холодное время года стремится, чтобы высосанный изъ рабочихъ помѣщеній теплый воздухъ сохранялъ свою температуру и послѣ предварительнаго очищенія снова подводился въ рабочее помѣщеніе въ видѣ хорошаго свѣжаго воздуха. Для этого зимою испорченный воздухъ помощію двудувнаго цилиндра высасывается изъ вентилируемыхъ помѣщеній и по трубѣ вгоняется въ очищающій ящикъ, на днѣ коего онъ проходитъ чрезъ ситообразную трубу и изъ нее черезъ известковую воду, при чемъ поднимается тонкими струйками; другою трубой онъ подводится въ очищенномъ состояніи въ рабочія помѣщенія. При промываніи известковой водою воздухъ не только основательно освобождается отъ угольной, сѣрнистой и другихъ кислотъ, а также отъ пыли и хлопьевъ, но онъ можетъ даже удержать свою температуру, ибо ящикъ съ известковою водой подогрѣваютъ помощію паровой трубы. Лѣтомъ лишь требуется подводить свѣжій воздухъ и тогда соединеніе трубъ съ свободною атмосферою дѣлается такъ, что всосанный воздухъ выталкивается по трубѣ на свободу, напротивъ присосанный свѣжій

воздухъ вгоняется въ рабочія помѣщенія; если желаютъ, то его можно сверхъ того провести чрезъ очищающій ящикъ и известковую воду. Инженеръ Зиминъ производитъ увлажненіе рабочихъ помѣщеній помощію системы пульверизаторовъ, въ коихъ вода обращается въ пыль сгущеннымъ воздухомъ; вообще распыливаніе воды примѣняется для увлажненія очень часто, таковы новые приборы Кертинга.

184. Особенныя **затрудненія** представляются **при вентиляціи помѣщеній**, которыя наполнены водянымъ паромъ, такъ какъ при высасываніи воздуха или пара изъ этихъ помѣщеній, а именно въ болѣе холодное время года, притекающій холодный воздухъ производитъ дальнѣйшее сгущеніе еще мало сгущеннаго пара въ помѣщеніи и ожидаемое освѣтленіе помѣщенія не получается. Въ такихъ случаяхъ вентиляція должна быть такъ выполнена, чтобы въ названное помѣщеніе вдували теплый воздухъ, который либо нагрѣвается въ назначенныхъ для этого пространствахъ особыми печами или же берется изъ помѣщеній, въ коихъ воздухъ и безъ того получаетъ высокую температуру, напримѣръ котельное или машинное помѣщеніе. Такая вентиляція оказалась успѣшною даже въ красильныхъ помѣщеніяхъ.

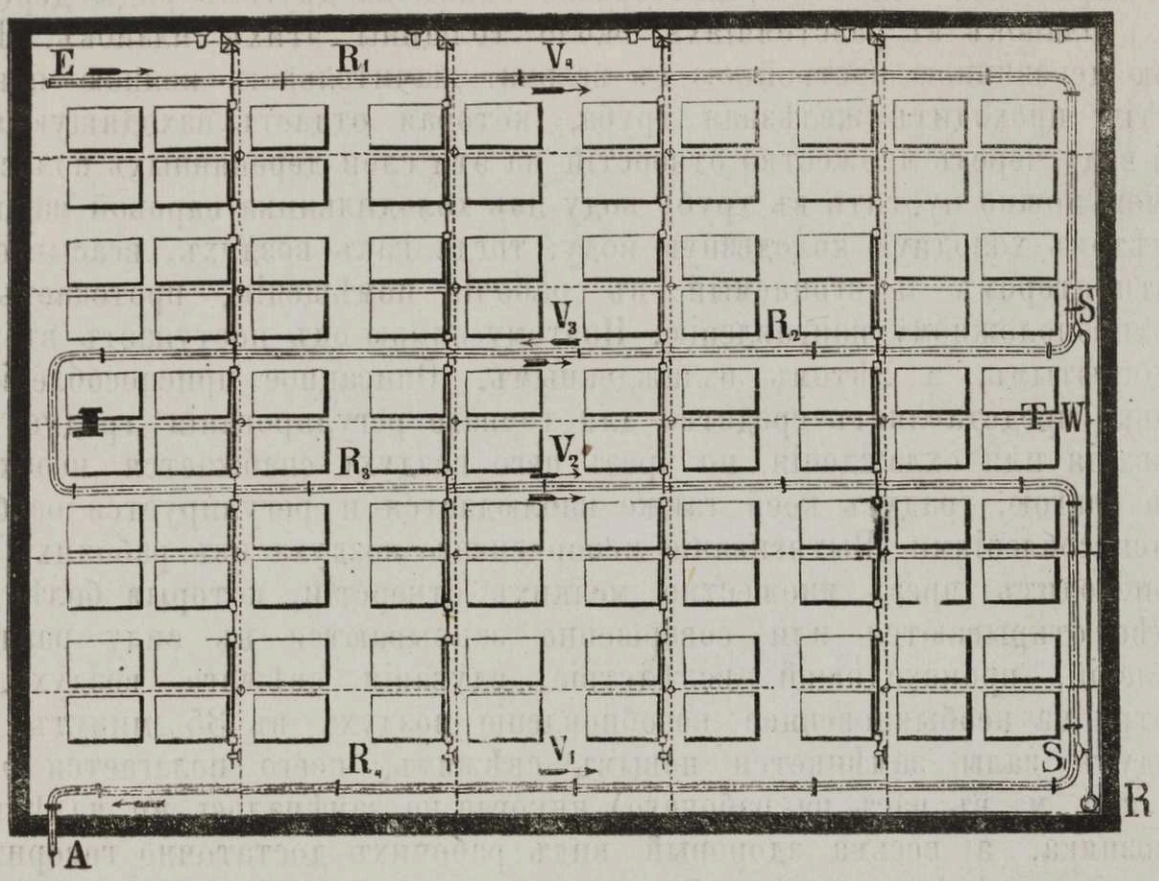
Такъ въ одной большой красильнѣ въ Мюльгаузенѣ находится слѣдующее устройство: въ данномъ помѣщеніи съ площадью пола 938 кв. м. и объемомъ 4800 куб. м. находится 25 открытыхъ красильныхъ кубовъ, въ которыхъ кипятъ жидкости, развивающія много пара. Для отведенія этихъ паровъ поставили надъ каждымъ сосудомъ вытяжную трубу, тяга которой усиливается газовымъ пламенемъ или вдуваемою струею воздуха. Но одновременно оказалось необходимымъ введеніе въ часъ 15 до 20000 куб. м. подогрѣтаго до 25° Ц. воздуха (въ интересахъ какъ рабочихъ, такъ и самой работы). Для сбереженія расходовъ на нагрѣваніе этой массы воздуха воспользовались лучистою теплотою 8 паровыхъ котловъ, для чего пространство надъ ними изолировали отъ крыши и отъ прочей котельной, слѣдовательно отдѣлили отъ угольной пыли и золы. Это пространство въ 1000 куб. м. сообщается съ внѣшнею атмосферою и поэтому содержитъ свѣжій и чистый, но теплый воздухъ, который и подводится въ рабочую залу по деревянной трубѣ съ площадью 0,62 кв. м. Воздуходувка Рута, которая при 240 оборотахъ доставляетъ 33 куб. м. воздуха при 74 см. водянаго столба, гонитъ струю холоднаго воздуха черезъ мундштукъ въ 8 см. въ деревянную трубу и тѣмъ производитъ равномѣрное движеніе теплаго воздуха. Этимъ простымъ устройствомъ была вполнѣ достигнута намѣченная цѣль, потому что даже въ холодное время года названная зала сдѣлалась теплою и въ тоже время свободною отъ водяныхъ паровъ. Увеличеніе расхода угля для паровиковъ до сихъ поръ не замѣчено.

185. Особаго упоминанія заслуживаютъ **вентиляціонныя приспособленія**, устроенныя въ прядильняхъ и ткацкихъ **Тенбринка**. Помощію вентиляторовъ вгоняютъ большое количество воздуха (всосаннаго изъ свободной атмосферы) въ рабочія залы и для избѣжанія сквознаго вѣтра заставляютъ воздухъ выходить вблизи потолка въ нѣсколькихъ мѣстахъ. Этотъ воздухъ на пути изъ атмосферы въ рабочія помѣщенія, прежде чѣмъ онъ доходитъ до вентиляторовъ, долженъ проходить черезъ коробки, поставленныя подъ вентиляторами въ подвальныхъ помѣщеніяхъ.

Въ коробкахъ лежатъ крестообразно одинъ на другомъ ряды деревянныхъ планокъ въ разстояніяхъ около толщины этихъ планокъ. Надъ этою деревянною постройкою съ весьма значительною полною поверхностію проходитъ желѣзная труба, которая отдаетъ находящуюся въ ней воду черезъ множество отверстій на эти слои деревянныхъ полосокъ. Зимою можно пустить въ трубу воду изъ холодильника паровой машины, а лѣтомъ холодную колодезную воду; тогда какъ воздухъ, всасываемый вентиляторомъ и вгоняемый въ рабочія помѣщенія, протекаетъ по противоположному направленію. Поэтому зимою онъ поступаетъ въ залы подогрѣтымъ, а лѣтомъ охлажденнымъ. Описанное приспособленіе не только представляетъ средство для точнаго регулированія градуса нагрѣванія или охлажденія, но чрезъ него воздухъ снабжается необходимою влагою, градусъ коей также наблюдается и регулируется особыми приспособленіями. Вытягиваніе испорченнаго воздуха изъ рабочихъ залъ происходитъ чрезъ множество мелкихъ отверстій, которыя болѣе или менѣе открываются или совершенно закрываются въ силу разности давленій, происходящей вслѣдствіе вдуванія свѣжаго воздуха. Не смотря на необыкновенное возобновленіе воздуха въ 35 минутъ весь воздухъ залы замѣняется новымъ свѣжимъ, коего полагается около 77 куб. м. въ часъ на рабочаго) никогда не замѣчалось ни малѣйшаго сквозняка, а весьма здоровый видъ рабочихъ достаточно говоритъ о полномъ успѣхѣ всего устройства.

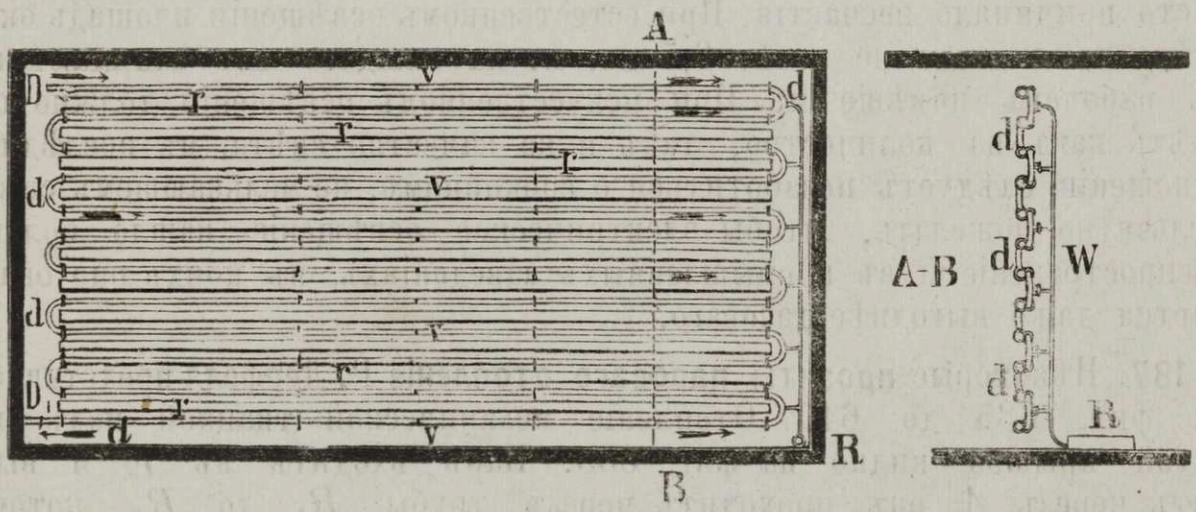
186. Что касается **освѣщенія рабочихъ помѣщеній**, то оно должно соотвѣтствовать цѣли помѣщеній и работамъ, въ нихъ производящимся; и особеннаго вниманія требуютъ помѣщенія, въ коихъ находятся приводы и машины. Эти помѣщенія *д. б.* на столько освѣщены, чтобы всѣ движущіяся части всегда было легко видѣть. Равнымъ образомъ слѣдуетъ позаботиться о достаточномъ освѣщеніи лѣстницъ и переходовъ, какъ и всѣхъ помѣщеній, которыя должны проходить рабочіе при ихъ движеніи въ фабрикѣ, ибо недостаточное освѣщеніе въ этихъ мѣстахъ уже часто причиняло несчастія. При естественномъ освѣщеніи площадь оконъ слѣдуетъ считать не менѣе 0,5 кв. м. на каждаго изъ занимающихся въ рабочемъ помѣщеніи. При искусственномъ освѣщеніи должно смотрѣть какъ на количество, такъ и на качество свѣта, въ послѣднемъ отношеніи слѣдуетъ позаботиться о спокойномъ, не мелькающемъ свѣтѣ. Нельзя не пожелать, чтобы электрическое освѣщеніе нашло большое распространеніе и въ промышленныхъ заведеніяхъ, въ коихъ оно оказывается даже выгоднѣе газоваго.

187. Нѣкоторые **проэкты пароваго отопленія** Р. Дерфеля представлены на фиг. 635 до 640. Отопленіе механической ткацкой подъ зубчатой крышей видно на фиг. 635. Паръ входитъ въ E и выходитъ черезъ A, онъ проходитъ черезъ трубы R_1 до R_4, которыя имѣютъ наклонъ въ одну и ту же сторону, такъ что петли, на которыхъ трубы висятъ, на сторонѣ H мастерской лежатъ на 200 мм. выше, чѣмъ петли на сторонѣ T. Здѣсь также устроены приспособленія для отвода воды, мѣшки S и S_1, отводная труба W и водоспускной аппаратъ R. На паропроводныхъ трубахъ привинчены воздушные вентили V_1 до V_4. Для большаго уясненія движеніе пара обозначено черными и бѣлыми стрѣлками, а движеніе воды черными стрѣлками.



фиг. 635.

Планъ, изображенный на фиг. 636, показываетъ устройство пароваго отопленія для сушильной камеры. Паръ входитъ черезъ D и выходитъ черезъ D. На сторонахъ D и D_1 трубы лежатъ выше, чѣмъ на другихъ сторонахъ, гдѣ W означаетъ отводъ воды. Между каждыми двумя петлями трубъ d на загибахъ имѣется отводная трубка, какъ это ука-

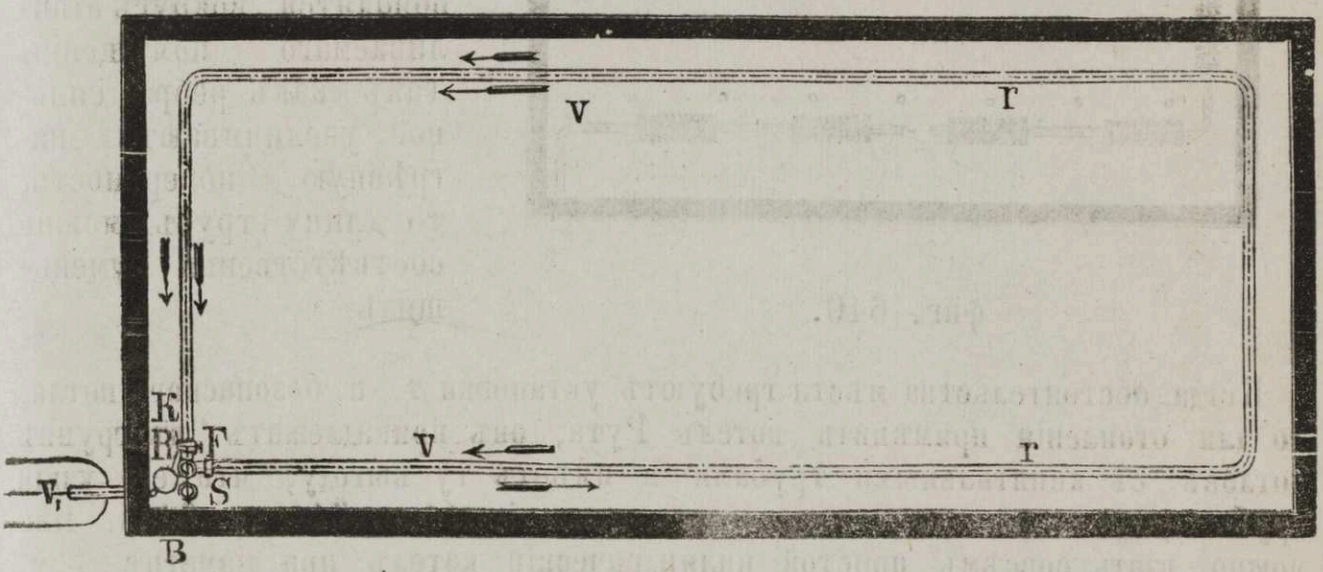


фиг. 636—637.

зано на фиг. 637, которая представляетъ поперечное сѣченіе AB. Буквой R обозначенъ самодѣйствующій водоотводный аппаратъ. Если система трубъ устроена въ одномъ этажѣ, то вода отводится въ нижній этажъ черезъ полъ, въ первомъ этажѣ она проводится въ ка-

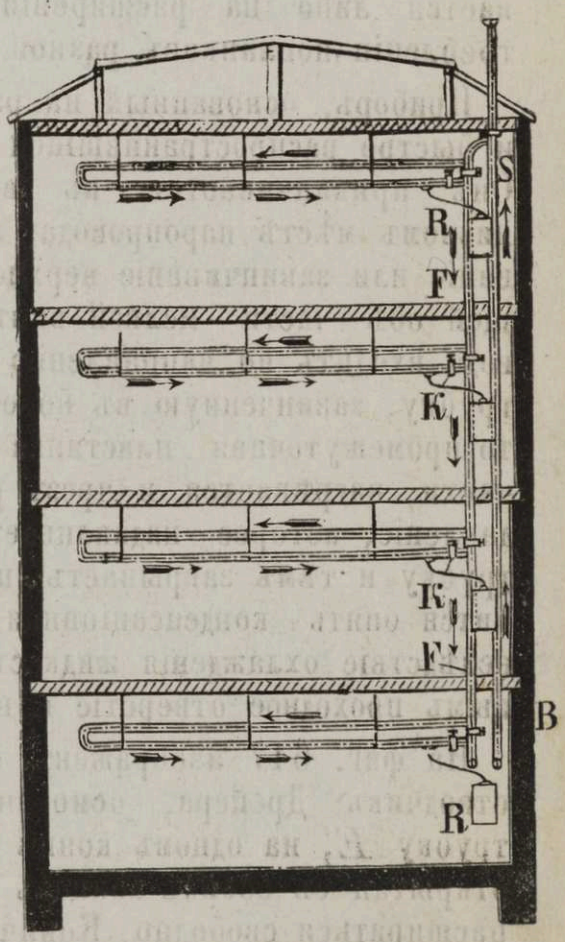
налъ. Укажемъ на многочисленные воздушные вентили *v* и повторимъ, что направленіе движенія пара обозначено черными и бѣлыми стрѣлками, а воды — черными стрѣлками.

Отопленіе паромъ для цѣлаго зданія изъ нѣсколькихъ этажей изображено на фиг. 638—639 въ планѣ и въ поперечномъ сѣченіи. Для такого зданія удобно вести паръ изъ котла прямо въ самое высокое мѣсто, а оттуда вести его внизъ черезъ отапливаемыя помѣщенія и выпустить его въ самомъ низкомъ мѣстѣ. Съ



фиг. 638.

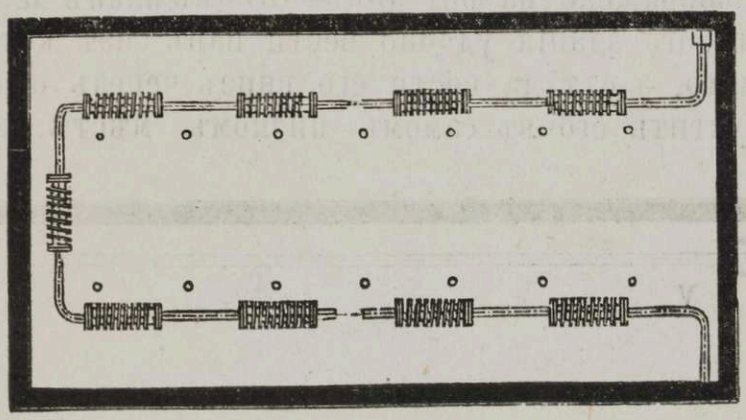
этой цѣлью можно употреблять *a*) систему змѣевиковъ съ одной подъемной трубой и *b*) систему восходящихъ и вертикальныхъ трубъ. Послѣдняя практичнѣе, потому что помощью вертикальной трубы, проходящей черезъ всѣ этажи, можно болѣе или менѣе прекратить нагрѣваніе въ каждомъ изъ этажей и регулировать самое нагрѣваніе,—что дѣлается посредствомъ горловыхъ клапановъ. Такое устройство показано на фиг. 638—639. Система змѣевиковъ проще и дешевле; въ этомъ случаѣ паръ проходитъ черезъ змѣевики, не останавливаясь въ покояхъ. Какъ видно изъ фиг. 638, на одномъ концѣ вблизи котла V_1 находится подъемная труба *S*, обратная труба *F* и вертикальная общая труба *B*; буквой *R* обозначенъ конденсаціонной отводчикъ. Паръ идетъ вверхъ черезъ трубу *B*, распредѣляется по трубамъ *r* и выходитъ черезъ подъемную трубу *S*.



фиг. 639.

Буквой W означенъ отводъ воды, V — воздушный клапанъ и K — регулирующій нагрѣваніе горловой клапанъ.

Инженеры Е. и П. Се въ Лиллѣ употребляютъ для пароваго отопленія ребристыя трубы, подобныя баттареямъ, употребляемымъ при водяномъ отопленіи. На фиг. 640 показано устройство пароваго отопленія съ такими трубами; послѣднія просто обводятся вокругъ отапливаемаго помѣщенія. Такъ какъ ребра сильно увеличиваютъ нагрѣвную поверхность, то длину трубъ можно соотвѣтственно уменьшить.



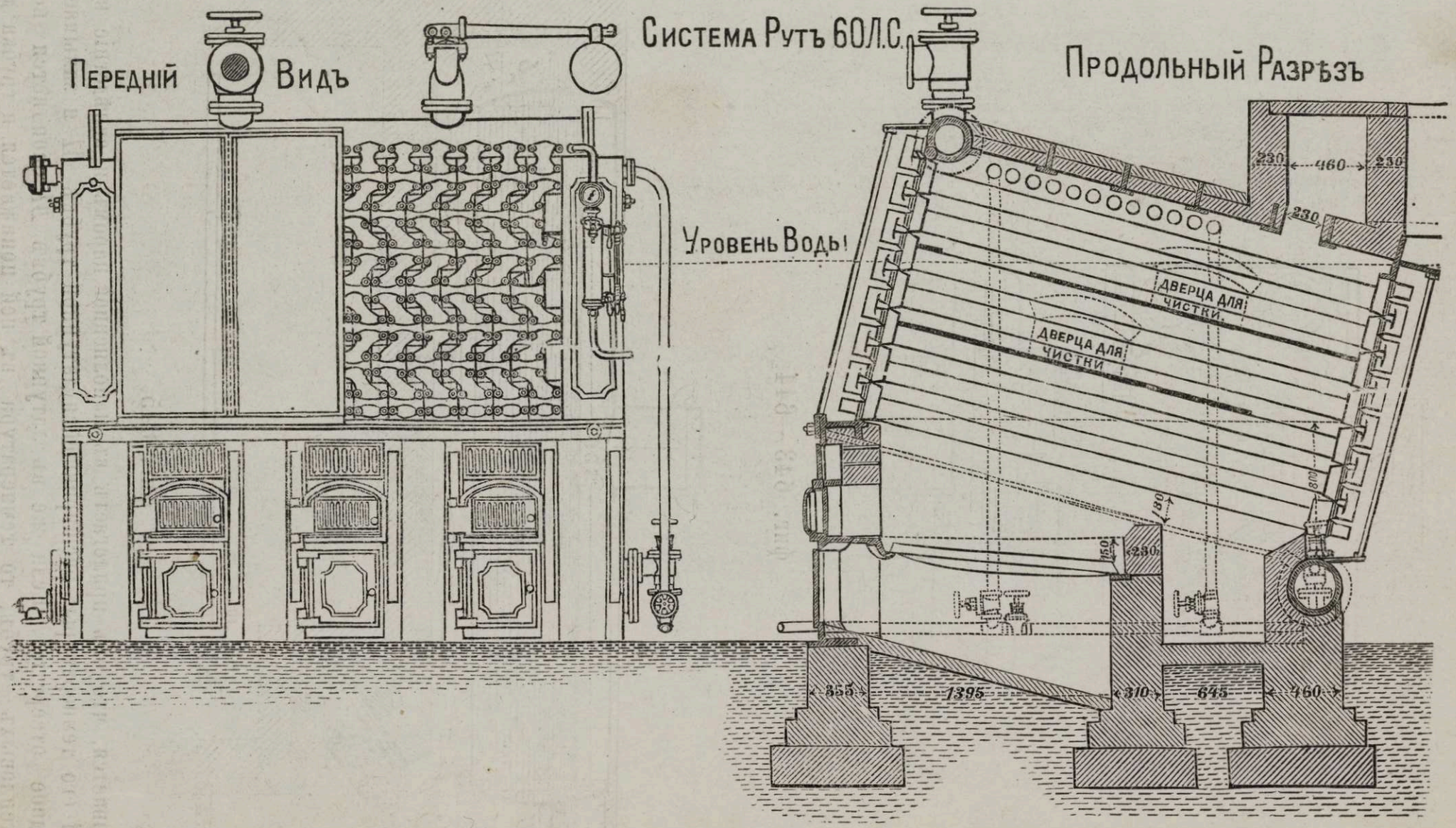
фиг. 640.

Когда обстоятельства мѣста требуютъ установки т. н. безопаснаго котла, то для отопленія примѣнить котелъ Рута; онъ принадлежитъ къ группѣ котловъ съ кипятильными трубами и имѣетъ ту выгоду, что его узкія трубы могутъ выдерживать высокое давленіе (фиг. 641 до 644). Или можно взять совсѣмъ простой цилиндрическій котелъ: при діаметрѣ 1 м. и длинѣ 5 м. онъ даетъ площадь нагрѣва 8 кв. м. (фиг. 645); для отопленія бурымъ углемъ устроена лѣстничная рѣшетка.

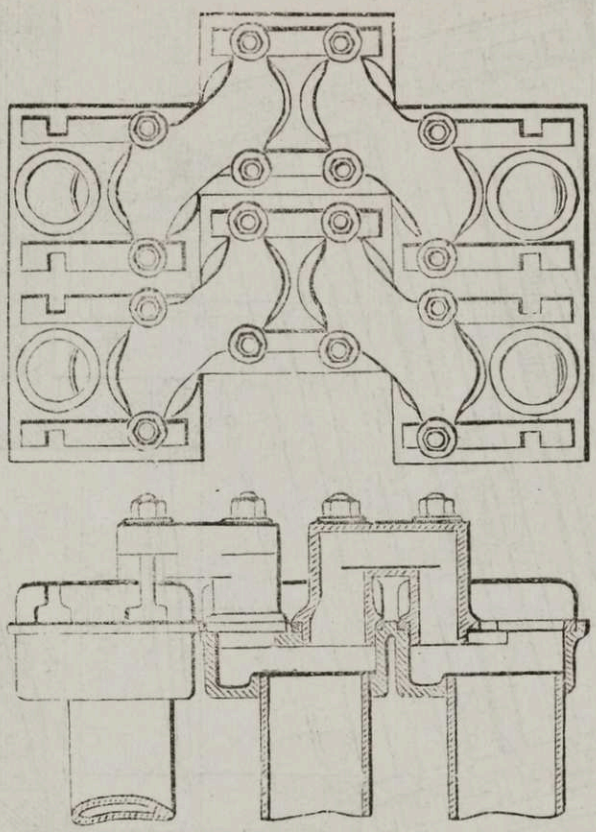
188. Приборы для спуска осѣвшей воды. Устройство ихъ основывается либо на расширеніи жидкостей или металловъ, либо на употребленіи поплавковъ разной формы.

Приборъ, основанный на расширеніи жидкости, названный „автоматъ“ и быстро распространившійся ради его простоты, изображенъ на фиг. 646. Онъ привинчивается къ водяному мѣшку, помѣщенному въ самомъ низкомъ мѣстѣ паропровода, и устанавливается правильно чрезъ отвинчиваніе или завинчиваніе верхней части на нижнюю посредствомъ соединяющей обѣ части мелкой винтовой нарѣзки. Скопившаяся конденсаціонная вода входитъ по направленію стрѣлки сбоку и можетъ быть отведена чрезъ трубку, завинченную въ боковой штуцелъ; если же за ней входитъ паръ, то промежуточная пластинка и вода, находящаяся надъ ней въ верхней части, нагрѣвается и чрезъ расширеніе послѣдней получается внутреннее давленіе, которое надавливаетъ промежуточную пластинку на стоячую трубку и тѣмъ закрываетъ проходное отверстіе до тѣхъ поръ, пока скопится опять конденсаціонная вода, послѣ чего промежуточная пластинка, вслѣдствіе охлажденія жидкости въ верхней части, снова оставитъ свободнымъ проходное отверстіе и возвратится въ положеніе на фиг. 646.

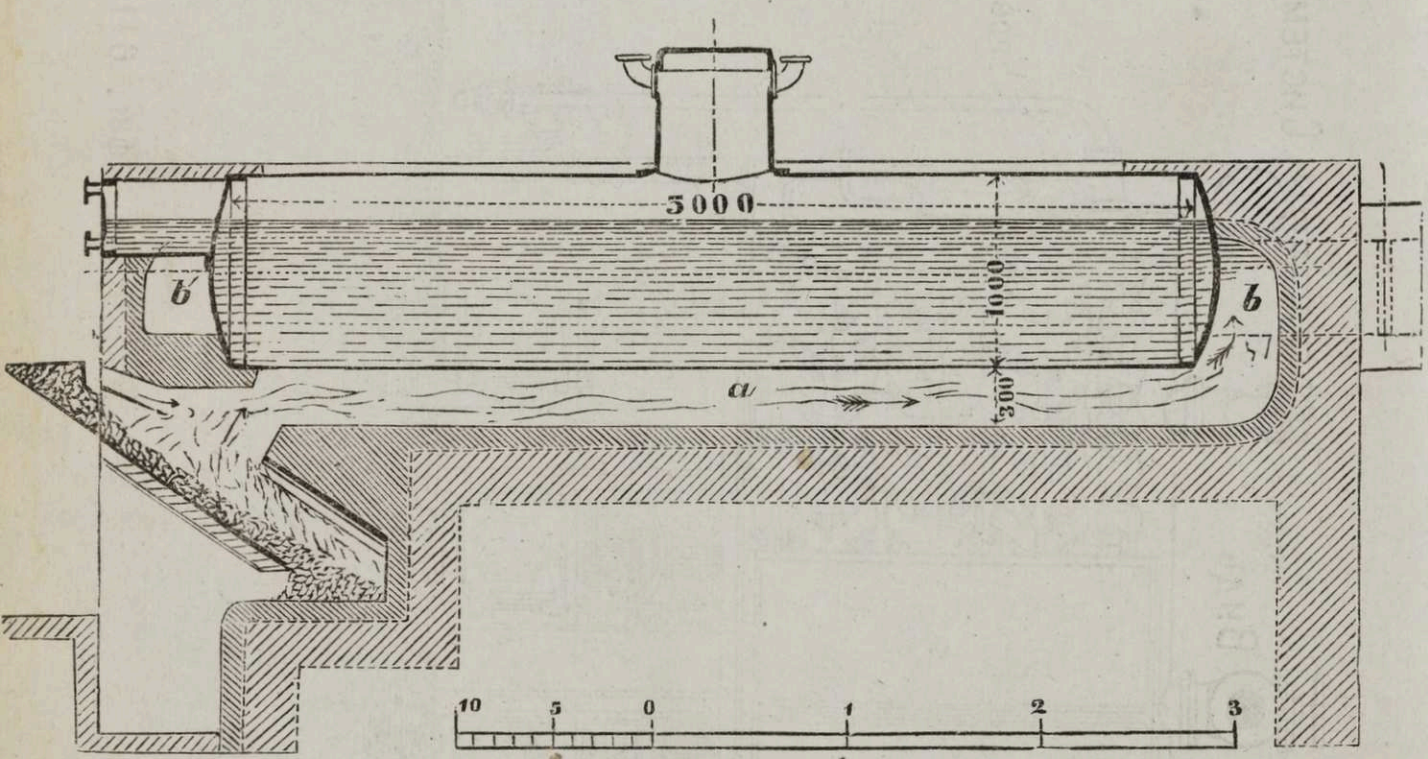
На фиг. 647 изображенъ маленькій, а на фиг. 648 большой водоотводчикъ Дрейера, основанный на расширеніе металловъ. На чугунную трубку E, на одномъ концѣ закрытую колпачкомъ g, укрѣплена при а, открытая съ обоихъ концовъ латунная труба M, которая по длинѣ можетъ расширяться свободно. Коническій вентиль V помощію маховичка S и нарѣзки его стержня (на фиг. 648 при посредствѣ рычага N) такъ уста-


Передній Видъ
Система Рутъ 60 Л.С.
Продольный Разрѣзъ
Уровень Воды
Дверца для чистки
Дверца для чистки
230
460
230
230
800
180
150
230
355
1395
310
645
460

фиг. 641—642.

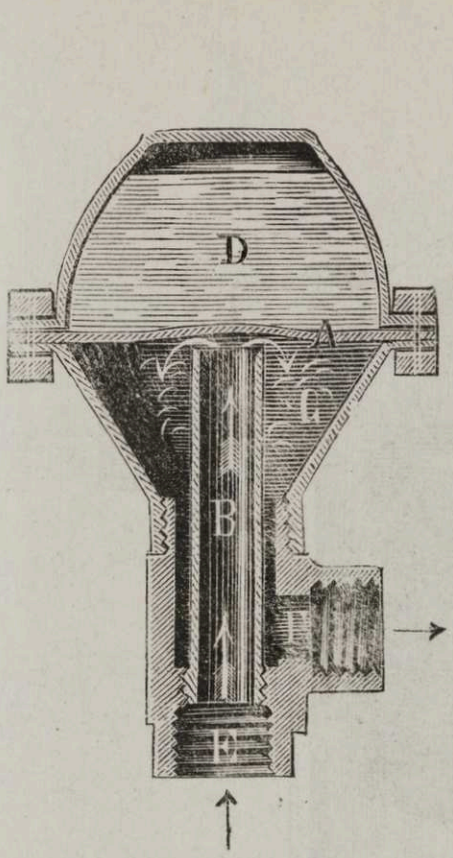


фиг. 643—644.

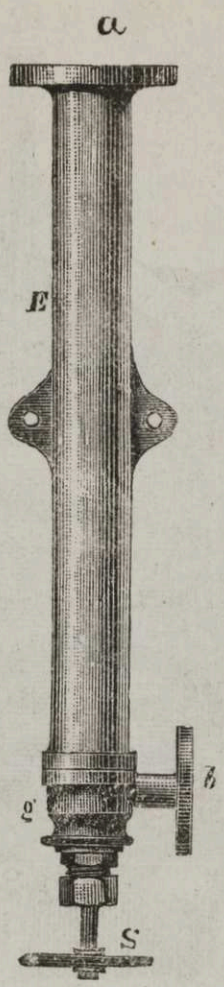


фиг. 645.

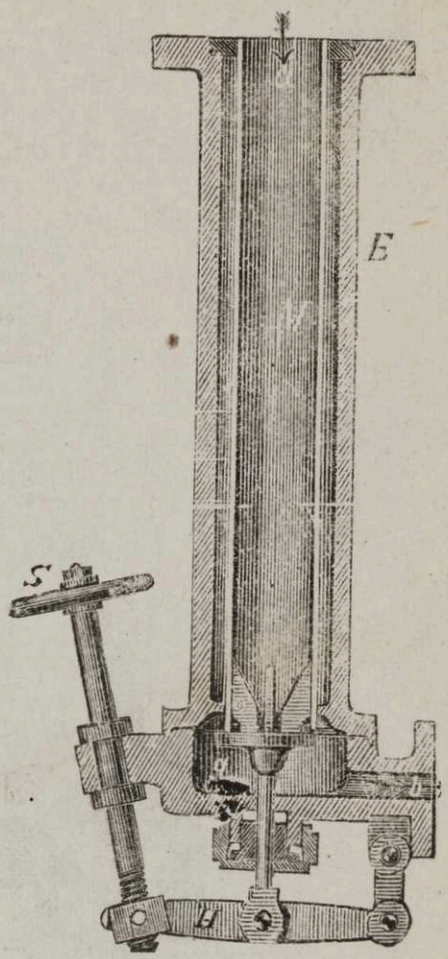
навливается, что онъ прилегаетъ къ наполненной паромъ и вслѣдствіе высокой его температуры расширившейся латунной трубкѣ *M* и замыкаетъ выходное отверстіе. Если же въ латунной трубкѣ *M* скопляется вода изъ тепловыхъ трубъ, то температура въ ней понижается и трубка дѣлается короче, вслѣдствіе чего открывается отверстіе между концомъ трубы и конусомъ вентиля и сгущенная вода можетъ вытекать черезъ



фиг. 646.



фиг. 647.



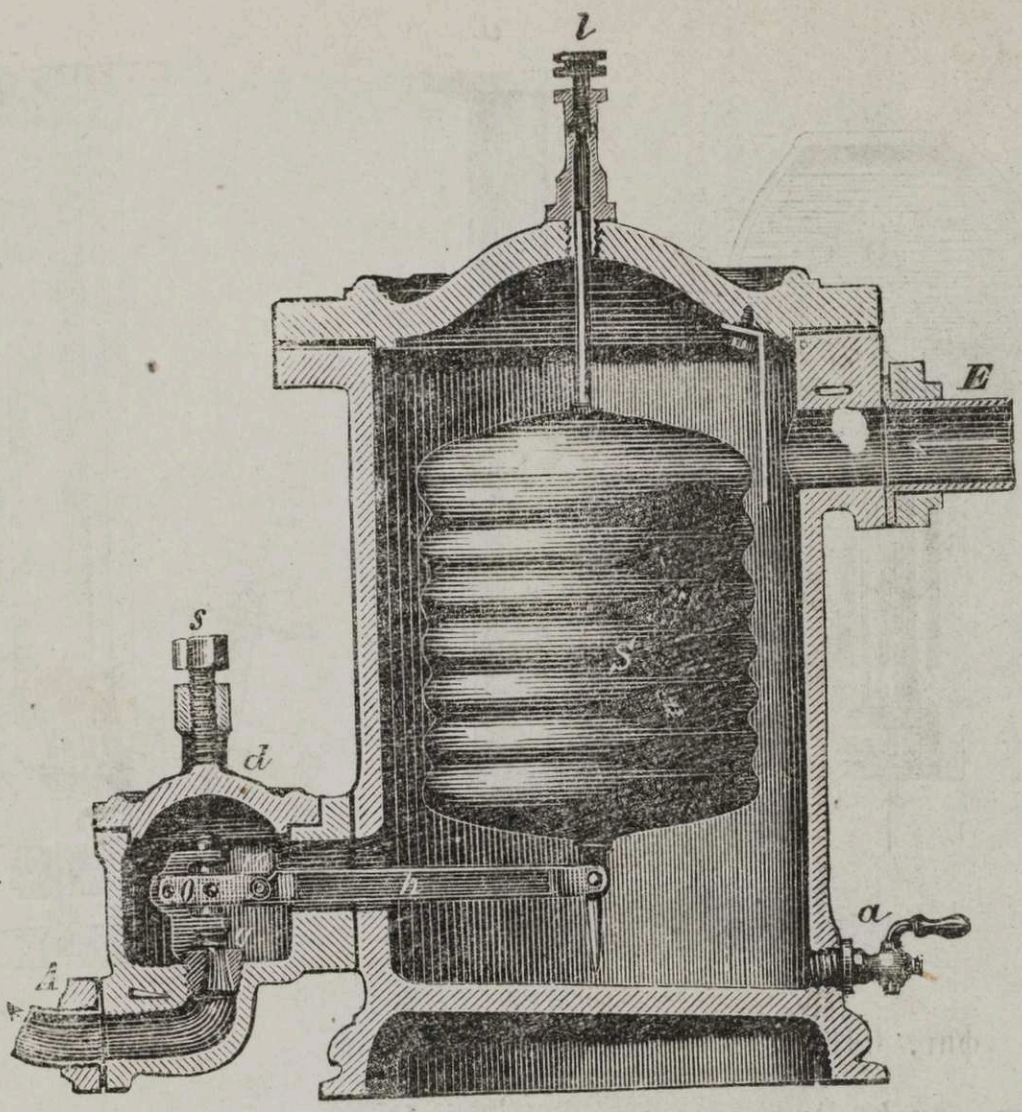
фиг. 648.

патрубокъ при *b*. Этотъ водоотводчикъ укрѣпляется концомъ a къ трубамъ пароваго отопленія и вода изъ трубъ входитъ въ него при a по направленію стрѣлки. Водоотводная трубка, примыкающая къ патрубку при *b* (даже если стекающая конденсаціонная вода не должна нагнетаться паромъ на высоту) всегда дѣлается съ подъемомъ; черезъ это получается водяной мѣшокъ и вентиль лежитъ подъ водянымъ запоромъ. Только въ томъ случаѣ, когда нужно опасаться замерзанія воды въ этомъ водяномъ мѣшкѣ, должно патрубокъ *b* съ водоотливною трубкою направить внизъ и послѣднюю положить съ уклономъ.

На фиг. 649 изображенъ воодотводчикъ съ поплавкомъ (Шефера и Валькера въ Берлинѣ). Осѣвшая вода течетъ по направленію стрѣлки сверху сбоку въ конденсаціонный горшокъ и поднимаетъ поплавокъ, а помощію его рычагъ спускнаго вентиля, помѣщеннаго внизу сбоку. Боковое положеніе послѣдняго дѣлаетъ его удобнодоступнымъ, ибо крышку вентильной коробки можно тотчасъ поднять, отвинтивъ дуговой запоръ. Приборъ работаетъ автоматически безъ перестановокъ при давленіяхъ отъ 0 до 5 атм.

Для каждаго особаго паропровода слѣдуетъ какъ на паровомъ котлѣ, такъ и при приборѣ, въ которомъ паръ употребляется для нагрѣванія, ставить по паровому запору.

При отопленіи помѣщеній для защиты тонкостѣныхъ тепловыхъ трубъ отъ расплющиванія наружнымъ давленіемъ воздуха помѣщается на паропроводъ воздушный вентиль, который открывается вовнутрь и даетъ доступъ воздуху, какъ скоро чрезъ сгущеніе пара въ трубахъ образовался



фиг. 649.

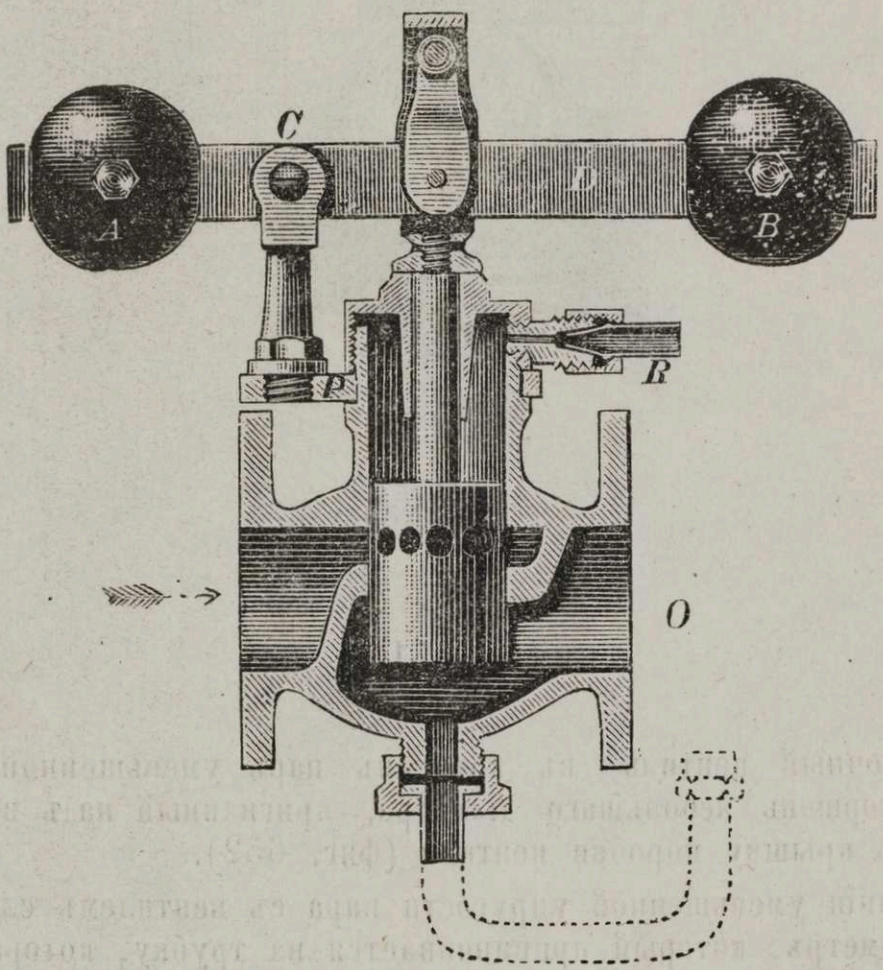
вакуумъ. Конденсаціонные отводчики фиг. 646 до 648 дѣйствуютъ при свободномъ выливномъ отверстіи также въ видѣ воздушнаго вентиля, ибо при охлажденіи трубъ они дозволяютъ входъ въ нихъ воздуха.

Приборы для отведенія осѣвшей воды описаны подробно въ 31 томѣ Publication industrielle par Armengaud 1888 черт. 42. Вообще дѣйствіе ихъ не надежно и требуетъ постояннаго наблюденія (поправки и чистки). По Арманго наклонъ трубъ около 3 мм. на метръ (т. е. менѣе, чѣмъ дано на стр. 544) и по нашему опыту даже достаточно 1,75 мм. на м. или $^1/_{600}$. Въ прядильняхъ и ткацкихъ въ Америкѣ помѣщаютъ трубы на 60 см. ниже потолка.

189. Вентили для уменьшенія давленія пара бываютъ либо поршневые либо двухтарелочные, первые годятся для малыхъ, вторые для большихъ количествъ пара. Фиг. 650 даетъ разрѣзъ, а фиг. 651 передній видъ поршневаго вентиля; фиг. 652 разрѣзъ двухтарелочнаго вентиля особой конструкціи. Эти вентили служатъ для уменьшенія и регулированія упругости пара, притекающаго изъ пароваго котла чрезъ соотвѣтствующій паропроводъ, чтобы употреблять его одновременно для такихъ цѣлей, для коихъ м. б. употребляемъ только паръ малой упругости. Вентиль производитъ это уменьшеніе давленія автоматически и поддерживаетъ упругость пара постоянно внутри нѣкоторыхъ предѣловъ, ибо при высшей упругости пара вентиль тотчасъ же поднимается и уменьшается площадь для

прохода, т. е. паръ мнется, чрезъ что его упругость такъ убавляется, что желаемая упругость пара никогда не превышается. На пути изъ пароваго котла паръ стремится чрезъ вентиль по такому направленію, что послѣдній запирается вслѣдствіе давленія пара въ отводящей трубѣ, какъ скоро это давленіе пара слишкомъ велико и соотвѣтственно этому совершается установка груза на рычагъ вентиля.

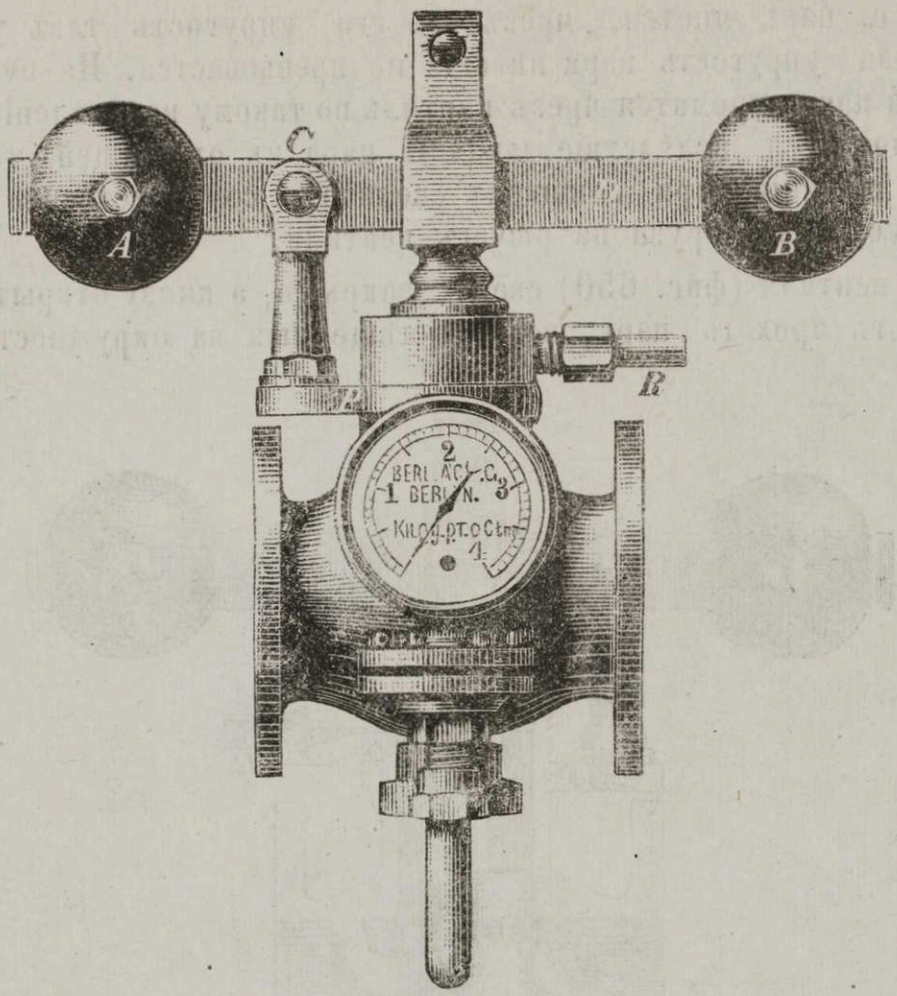
Поршень вентиля (фиг. 650) сверху закрытъ, а книзу открытъ и только тогда и даетъ проходъ пару, когда помѣщенныя на окружности круглыя



фиг. 650.

отверстія совпадаютъ со впускнымъ каналомъ вентильной коробки. Если же поршенъ вентиля вслѣдствіе слишкомъ большаго противодавленія на выходной сторонѣ поднимается на высоту, то притокъ пара мнется или вполнѣ прекращается до тѣхъ поръ, пока давленіе пара подъ поршнемъ вентиля уменьшится на сколько, что онъ опять упадетъ и его проходныя отверстія совпадутъ со впускнымъ каналомъ. *B* грузъ на рычагъ, *D* для регулированія давленія, какое долженъ имѣть пропущенный паръ. *C* точка вращенія рычага. *A* противовѣсъ для выбалансировки груза *B* при давленіи пара менѣе 2 атм. *O* выходная сторона для пара. *R* сточная трубочка для прошедшаго подъ поршень вслѣдствіе его неплотности пара и для образовавшейся тамъ конденсаціонный воды. *P* подставка для поддержанія болта. *C* вращенія рычага, вращающаяся на шейкѣ вентильной коробки для желаемой установки направленія рычага *D*.

Чтобы при большомъ проходномъ сѣченіи, т. е. при большомъ діаметрѣ вентиля грузъ на рычагѣ не получался слишкомъ большой, употребляютъ



фиг. 651.

двухъ - тарелочный вентиль, въ которомъ паръ уменьшенной упругости давитъ на поршень небольшаго діаметра, пригнанный надъ вентильными тарелками въ крышку коробки вентиля (фиг. 652).

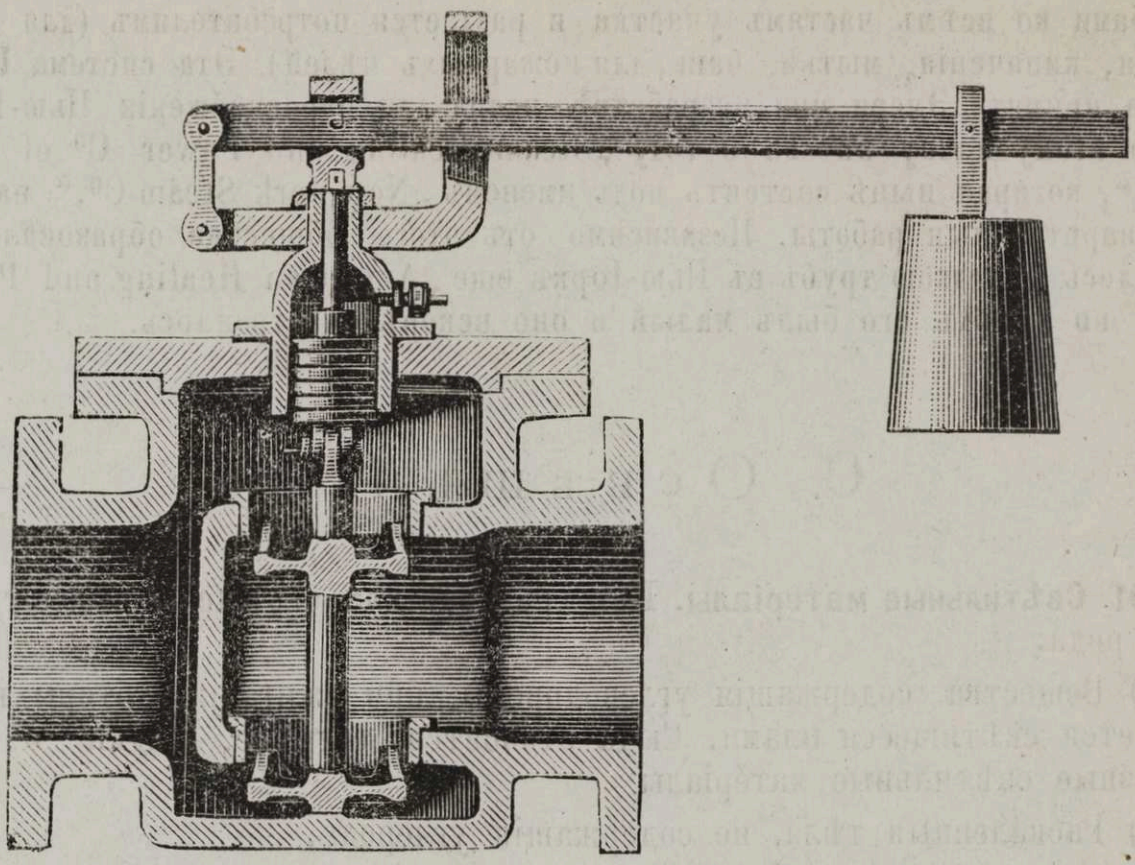
Для узнаванія уменьшенной упругости пара съ вентилемъ слѣдуетъ соединить манометръ, который привинчивается на трубку, которая на фиг. 650 показана внизу пунктиромъ и загнутую въ сторону, а на фиг. 651 нарисована въ правильномъ положеніи.

Если вентиль долженъ пропускать паръ меньшаго чѣмъ 2 атм. давленія, то употребляются два груза на рычагѣ, изъ коихъ грузъ на короткомъ плечѣ рычага служитъ противовѣсомъ для груза на длинномъ плечѣ рычага.

Такъ какъ вентиль, уменьшающій давленіе пара не дѣйствуетъ въ видѣ пароваго запора, то во всѣхъ случаяхъ на трубахъ слѣдуетъ ставить запорный вентиль при паровомъ котлѣ или въ особыхъ случаяхъ вставлять запорный вентиль предъ вентилемъ, уменьшающимъ давленіе.

Вентиль, уменьшающій давленіе пара, слѣдуетъ помѣщать всегда сколь можно ближе къ тому прибору, въ который долженъ идти уменьшенной упругости, дабы манометръ правильно указывалъ именно ту упругость пара, съ какою паръ подводится къ прибору.

190. Что касается примѣненія **пароваго отопленія для цѣлыхъ группъ зданій и частей города**, то съ нимъ уже въ 1877 году въ Локпортѣ въ Соединенныхъ Штатахъ Сѣверной Америки былъ сдѣланъ первый опытъ, при чемъ было положено 5000 м. длины трубъ. На разстояніяхъ отъ 40 до



Фиг. 652.

60 м. были включены въ трубопроводъ особыя расширительныя муфты дабы дѣлать возможными расширеніе и сжатіе трубъ вслѣдствіе измѣненій температуры; при этомъ отъ употребленныхъ соединительныхъ коробокъ отвѣтвлялись боковыя трубы къ отапливаемымъ зданіямъ. Эти боковыя трубы внутри соединит. коробокъ снабжены прилаженнымъ колпачкомъ, который можетъ вращаться внизъ, дабы принять конденсаціонную воду тотчасъ же при ея образованіи и отвести ее къ регулирующему вентилю внутри подвальной стѣны дома. Въ этомъ мѣстѣ конденсаціонная вода имѣетъ давленіе не менѣе 3 атмосферъ, соотвѣтственно температурѣ около 135° Ц. Но такъ какъ въ регуляторѣ давленія она освобождается изъ подъ этого давленія, то большая часть ея превращается въ паръ и этотъ то паръ подводится къ паровымъ печамъ, состоящимъ изъ вертикальныхъ трубъ дабы въ нихъ отдать вслѣдствіе конденсаціи свою скрытую теплоту. Отсюда ясно, что хотя въ главномъ проводѣ имѣется давленіе не менѣе трехъ атмосферъ, но посредствамъ регулятора давленія эта упругость въ отвѣтвленныхъ трубахъ можетъ быть уменьшена до очень небольшаго избыточнаго давленія такъ, что во всѣхъ домовыхъ проводахъ — находятся ли оные вблизи или далеко отъ центральной станція — можно получить одно и тоже давленіе. Количество пара, расходуемое каждымъ потребителемъ, отмѣчается на бумажной лентѣ, двигаемой часовымъ механизмомъ, такъ что можно видѣть количество пара и время, въ теченіе коего каждая паровая печь находилась въ дѣйствіи.

Въ 1887 году уже 17 большихъ городовъ Сѣверной Америки были снабжены такою системою (Голли) доставленія пара, при чемъ большой городъ дѣлится на участки, изъ коихъ каждый получаетъ центральную станцію для полученія пара, который потомъ и проводится подземными

трубами ко всѣмъ частямъ участка и раздается потребителямъ (для отопленія, кипяченія, мытья, бань, для пожарныхъ цѣлей). Эта система Голли была принята Эмери при разработкѣ плана для пароснабженія Нью-Іорка и по этому плану въ 1880 году „Steam Heating and Power C⁰ of New-Jork“, которая нынѣ состоитъ подъ именемъ „New-Jork Steam C⁰,“ начала предварительныя работы. Независимо отъ этого общества образовалось и занялось укладкою трубъ въ Нью-Іоркѣ еще „American Heating and Power C⁰,“ но успѣхъ его былъ малый и оно вскорѣ разстроилось.

С. Освѣщеніе.

191. Свѣтильные матеріалы. Изъ средствъ для освѣщенія разсмотримъ три рода:

1) Вещества, содержащія углеводороды, при сжиганіи которыхъ образуется свѣтящееся пламя. Сюда относятся твердые, жидкіе и газообразные свѣтильные матеріалы.

2) Раскаленныя тѣла, не содержащія углерода.

3) Электрическое освѣщеніе.

Относительно перваго рода освѣщенія для насъ важно газовое. Свѣтильный газъ въ большихъ размѣрахъ приготовляется большею частью изъ каменнаго угля, рѣже изъ дерева, торфа и бураго угля, а также изъ нефти и минеральныхъ маслъ, въ меньшихъ размѣрахъ еще изъ жирныхъ отбросовъ, костей, выжимокъ и т. д., при чемъ процессъ добыванія основывается на сухой перегонкѣ и извѣстныхъ очистительныхъ операціяхъ. Перегонка каменнаго угля совершается въ настоящее время въ ретортахъ изъ огнеупорной глины (шамота), тогда какъ для маслъ и другихъ веществъ употребляютъ обыкновенно чугунныя реторты. Въ новѣйшее время получило большое примѣненіе для ретортныхъ печей газовое отопленіе, потому что при этомъ получается значительное сбереженіе горючаго матеріала и достигается равномѣрная температура въ печи.

Большое вниманіе должно быть обращено на очищеніе свѣтильнаго газа для освобожденія его отъ дегтя, амміака, углекислоты, сѣроводорода и сѣроуглерода.

Часто, а главнымъ образомъ при большомъ производствѣ, рядомъ съ газомъ изъ маслъ добывается также и такъ называемый водяной газъ, состоящій изъ водорода и окиси углерода; для этой цѣли водяной паръ пропускаютъ чрезъ раскаленный уголь; образующійся газъ самъ по себѣ слабосвѣтящійся, будучи пропущенъ черезъ реторты, гдѣ происходитъ сухая перегонка масла, смѣшивается съ добываемымъ здѣсь газомъ, отчего количество газа и свѣтовой эффектъ значительно увеличиваются. Иногда образованіе обоихъ газовъ происходитъ одновременно въ ретортахъ, куда по каплямъ впускаютъ воду.

192. Свѣтильный газъ изъ каменнаго угля. 1) Выходъ газа и кокса. Перегонка 100 клгр. каменнаго угля хорошаго качества производитъ среднимъ числомъ: газа 29 до 30 куб. м. и кокса 72 клгр. (1,7 гекто-

литра = 6 куб. ф. анг.). Обыкновенные угли даютъ около 23 куб. м. изъ 100 клгр. Нѣкоторые сорты англійскаго кам. угля (кенельскій и бохгедъ) даютъ исключительный выходъ газа въ 35 до 40 куб. м. и кромѣ того освѣтительная способность этого газа гораздо больше освѣтительной способности газа, доставляемаго обыкновенными кам. углями.

2) Побочные продукты. a) деготь, средній удѣльный вѣсъ 1,2; 100 клгр. угля производятъ 3,5 до 6 клгр. дегтя. b) амміачная вода, 6 до 9% вѣса перегнаннаго угля; эта вода оказывается въ 1 до 8° Боме, смотря по способу производства и содержитъ отъ 1 до 5% чистаго амміака.

3) Свойства свѣтильнаго газа. *a.* Удѣльный вѣсъ свѣтильнаго газа среднимъ числомъ = 0,41 (относительно воздуха).

b. Освѣтительная способность. Единицу освѣтительной способности можно опредѣлить слѣдующимъ способомъ: сожигаютъ въ Аргантовой горѣлкѣ, системы Бенгеля, при давленіи въ 2 до 3 мм. воды, 105 метровъ газа (давленіе 760); получающійся свѣтъ обладаетъ освѣтительной способностью равною свѣту, доставляемому карсельскою лампою, сжигающею въ 1 часъ 42 грамма очищеннаго сурѣпнаго масла, при пламени высотою 40 мм. Англійская единица есть спермацетовая свѣча (candle) діаметромъ 22 мм., сжигающая въ часъ 7,78 граммовъ (120 грановъ) спермацета (измѣненія этой свѣчи достигаютъ иногда 30%). Нѣмецкая единица есть союзная свѣча (kerze) изъ параффина діаметромъ 20 мм., горящая съ пламенемъ высотою 50 мм.

Международная единица свѣта (Віолль, 1884) есть количество свѣта, испускаемое 1 квадр. сантиметромъ платины при точкѣ затвердѣванія. Слѣдующая таблица указываетъ соотношеніе между различными единицами.

	Международная единица.	Парижская (карсельская) лампа.	Мюнхенская (стеариновая) свѣча.	Англійск. (спермацетовая) свѣча.	Нѣмецкая (парафиновая) свѣча.
Международная единица.	1	2,080	13,520	15,392	15,808
Карсельская лампа . . .	0,481	1	6,500	7,400	7,600
Мюнхенская свѣча . . .	0,074	0,154	1	1,139	1,169
Англійская „ . . .	0,065	0,135	0,879	1	1,027
Нѣмецкая „ . . .	0,063	0,132	0,855	0,974	1

Сравненіе освѣтительныхъ способностей дѣлается посредствомъ фотометра (Румфорда, Фуко, Бунзена), основываясь на законѣ, что интенсивность измѣняется обратно пропорціонально квадрату разстояній отъ источниковъ свѣта.

c. Вредныя примѣси въ газѣ неочищенномъ: углекислота 0 до 4%; амміакъ 0 до 15%; сѣрнистый водородъ 0 до 1,5%. Углекислота удлиняетъ пламя газа тѣмъ больше, чѣмъ болѣе количество этой кислоты. Присутствіе углекислоты узнается по тому ея свойству, что она даетъ бѣлую муть въ известковой водѣ.

d. Воздухъ примѣшанный къ газу, значительно уменьшаетъ его освѣтительную способность; а именно чрезъ прибавленіе % воздуха

1 2 3 4 6 8 9 10 20 30 40 45

уменьшеніе освѣтительной способности въ % будетъ

6 11 18 26 44 53 64 67 93 98 99 100

e. Теплотворная способность. 1 куб. м. газа отдѣляетъ 3000 калорій; 33 литра газа могутъ довести до кипѣнія 1 литръ воды при 0°. Объемъ воздуха, нужный для горѣнія газа, равенъ 45 до 50%.

4. Аппараты. Сырой матеріалъ подвергается сухой перегонкѣ въ герметически закрытыхъ аппаратахъ; отдѣленіе газовъ замѣтно начинается при 100°; нагрѣваютъ до 1000° (свѣтлокрасное каленіе). Время перегонки 4 до 6 часовъ, при усиленномъ производствѣ 3 часа.

a. Реторты. Дѣлаются либо овальныя, либо полукруглаго поперечнаго сѣченія. Обыкновенно онѣ имѣютъ слѣдующіе размѣры: Ширина внутри 0,50 до 0,64 м.; высота 0,30 до 0,45 м.; длина 2,20 до 2,09 м. и толщина стѣнокъ 0,05 до 0,06 м.; въ реторты средней величины заряжаютъ среднимъ числомъ:

при 5 часовомъ времени перегонки 90 до 125 килогр.
„ 4 „ „ „ 75 до 100 „

Каждая реторта производитъ среднее въ 24 часа изъ вестфальскаго газоваго угля 120 до 170 кило газа. На потерю газа въ трубахъ считаютъ около 7%.

При перегонкѣ вестфальскій уголь даетъ:

Въ 1-й 2 3 4 часъ.

124 куб. м. 85 куб. м. 48 куб. м. 13 куб. м. Сумма 270 куб. м.
0,533 уд. в. 0,410 уд. в. 0,327 уд. в. 0,268 уд. в.

Каждая печь производитъ среднимъ числомъ въ 24 часа:

При 3 ретортахъ 435 куб. метр. газа.
„ 5 „ 725 „ „ „
„ 6 „ 950 „ „ „
„ 7 „ 1100 „ „ „

в. Конденсаторъ. На 100 куб. газа необходимо по кр. мѣрѣ 1,5 кв. м. охлаждающей поверхности.

c. Скруббберъ. Его величина опредѣляется такъ, чтобы газъ находился въ немъ въ теченіе 8 до 10 минутъ; слѣд. его объемъ д б. равенъ наибольшему выходу газа въ теченіе 8 до 10 минутъ.

d. Эксгаустеръ. Самые употребительные эксгаусторы Биля. При длинѣ 0,3 м. и такомъ же діаметрѣ одинъ такой эксгаусторъ достаточенъ на 112 куб. м. газа; при 0,6 м. діаметра на 560 куб м. газа, (число оборотовъ измѣняется отъ 100 до 55).

e. Очищающіе аппараты. Масса Ламинга состоитъ изъ смѣси желѣзнаго (зеленаго) купороса, гидрата извести (гашеной извести) и древесныхъ опилокъ. Составъ: 1 кило древ. опилокъ смѣшивается съ 1 кило просѣянной извести (погашенной въ порошокъ) обливается ра-

створомъ зеленаго желѣзнаго купороса и остается лежать на воздухѣ до тѣхъ поръ, пока масса получитъ краснобурый цвѣтъ. На 100 куб. м. выработки газа въ 24 часа общая площадь бываетъ 0,35 кв. м., при чемъ масса кладется слоемъ 0,3 м. толщиною; скорость газа около 5 мм. При очищеніи известковымъ молокомъ на 100 куб. м. газа необходимо 8 кило негашенной извести, объемъ которой при гашеніи увеличивается вдвое; считаютъ на 100 куб. м. газа до 82 квадр. сантим. площади.

5. Газгольдеръ. Отношеніе высоты къ діаметру=1:2. Полезное пространство колокола д. б. 70 до 75%, наибольшаго расхода газа въ 24 часа, но никогда не менѣе 50%.

Толщина желѣза.	Боковая поверхность.	Потолокъ.
для газгольдеровъ въ 30 куб. м.	9, 9 кило на кв. м.	11,0 кило на к. м.
„ „ отъ 30 до 150 „ „	12,1 „ „ „ „	11,0 „ „ „ „
„ „ „ 150 „ 900 „ „	13,2 „ „ „ „	12,1 „ „ „ „
„ „ болѣе 900 „ „	14,6 „ „ „ „	13,2 „ „ „ „

Давленіе въ газгольдерѣ 56 до 74 мм. водяного столба.

Зазоръ между колоколомъ и цистерною 300 мм. при малыхъ, 600 мм. при большихъ газометрахъ, считая по діаметру. Толщина направляющихъ столбовъ для газометровъ опредѣляется по давленію вѣтра, которое составляетъ 0,57 полнаго давленія на кв. м. вертикальной прямой поверхности.

При ураганѣ это послѣднее давленіе бываетъ 196 кило на кв. м.
„ штурмѣ „ „ „ „ 110 „ „ „ „

6. Газопроводныя трубы. Обозначимъ: d діаметръ трубъ въ сантиметрахъ; Q часовой расходъ въ куб. м. и L длину газопровода, то

$$d=0{,}354\sqrt{Q}\sqrt{L}.$$

Для предварительнаго расчета можно принимать скорость газа въ трубахъ=3 м. при $Q>100$ куб. м. и=0,3 $(1+0{,}1Q)$ м. при $Q<100$ куб. м.

Въ главной газовой линіи давленіе газа д. б. не менѣе 17 мм. водянаго столба. На 1 метръ разности уровней можно считать 0,8 мм. разности давленій.

7. Расходъ газа. Освѣщеніе улицъ. Разстояніе между фонарями на главныхъ улицахъ 25 до 30 м., въ переулкахъ до 45 м. Высота пламени надъ уровнемъ улицъ 3 до 3,6 м. Каковъ бы ни былъ родъ горѣлки (горѣлки вѣерныя, съ 2 дырочками и пр.), среднимъ числомъ считаютъ 0,140 куб. м. газа въ часъ при давленіи 12 мм. водянаго столба на каждую горѣлку (5 куб. фут.). Въ Парижѣ обыкновенный рожокъ, сжигающій 140 литровъ въ часъ, имѣетъ узаконенную интенсивность въ 1,10 карсели.

Освѣщеніе закрытыхъ помѣщеній. Употребляются тѣ-же рожки, какъ и для уличнаго освѣщенія. Расходъ газа въ часъ на 1 горѣлку измѣняется отъ 0,110 куб. м. до 0,28 куб. м. Для большаго пламени предпочитаются разрѣзныя горѣлки; если пламя окружено стекломъ, то давленіе м. б. уменьшено на 5 до 6,5 мм.

Цилиндрическія горѣлки съ двойнымъ притокомъ воздуха, называемыя рожками Арганда, требуютъ давленіе 5 до 10 мм.; онѣ имѣютъ 32 до 40 отверстій діаметромъ 0,8 мм., расположенныхъ по окружности діаметромъ 18 до 20 мм.

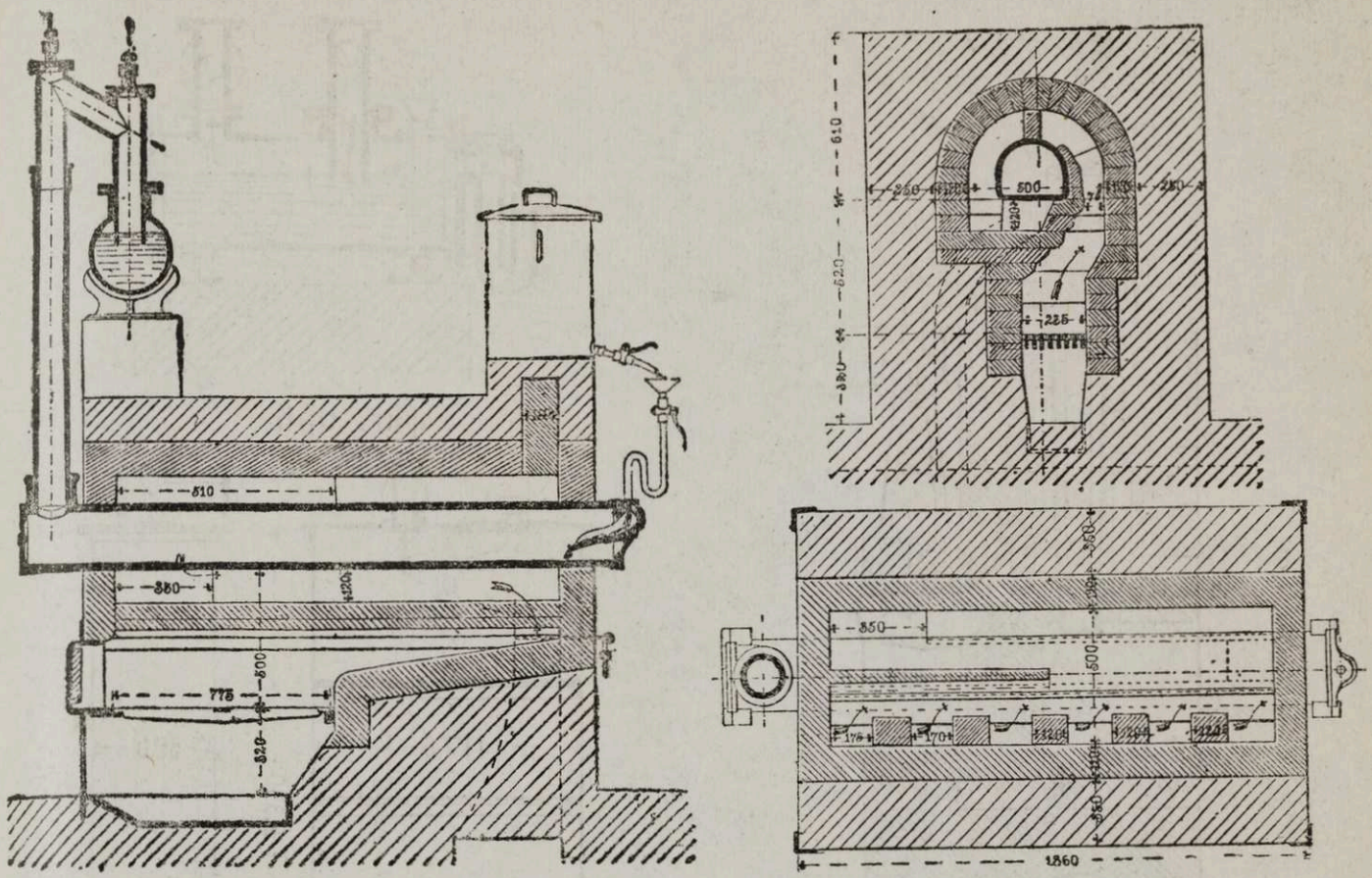
193. Свѣтильный газъ изъ нефтяныхъ остатковъ, маслъ и др. Каменные угли по отношенію своего количества доставляютъ весьма мало газа, вслѣдствіе чего приходится нагрѣвать большое количество матеріала, который при приготовленіи газа пропадаетъ напрасно. Это неудобство, какъ и разныя другія не имѣетъ мѣсто при примѣненіи жировъ, маслъ и т. п., какъ матеріаловъ для перегонки. Обыкновенно для приготовленія свѣтильнаго газа употребляются слѣдующіе жиры, какъ сырые матеріалы: нефтяные остатки, остающіеся при перегонкѣ сырой нефти; парафиновое масло, получающееся какъ побочный продуктъ, при парафиновомъ производствѣ, далѣе рапсовое масло и остающееся въ буксахъ желѣзнодорожныхъ вагоновъ смазочное масло. По Шаару 100 клгр. сыраго матеріала доставляютъ среднимъ числомъ 50 до 60 куб. м. газа, удѣльнаго вѣса 0,6. Удѣльный вѣсъ газа, приготовленнаго изъ маслъ не превышаетъ 0,9.

Перегонка совершается въ чугунныхъ ретортахъ при темпер. 900 до 1000° Ц. (при красно вишневомъ каленіи). При (объемѣ) реторты въ 0,1 куб. м. ежечасно получается около 9,2 куб. м. газа или при 0,10 кв. м. поверхности реторты получается (ежечасно) около 0,44 куб. м. На отопленіе, включая и растопку, для полученія 1 куб. м. газа потребно 8 до 8,5 клгр. кокса. Растопка длится отъ 2 до 3 часовъ.

Чугунная реторта имѣетъ круглое, овальное или корытообразное (въ видѣ сегмента) поперечное сѣченіе шириною въ 230 мм., высотою (наибольшая) 190 мм. и длиною въ 2 до 3 м. На обоихъ концахъ она снабжена скобой и нажимательнымъ винтомъ, помощью которыхъ производится герметическое закупориваніе крышки, смазанной для сей цѣли глиной или гашеной известью. Конструкція ретортной печи (фиг. 653—655) очень простая. Реторта настолько выступаетъ изъ каменной кладки, что съ одного ея конца выходитъ подъемная труба, а въ другомъ концѣ имѣется трубочка для заливанія сыраго матеріала. Горючіе газы проходятъ черезъ 6 прямоугольныхъ отверстій (75 мм. и 150 мм.) кверху по продольной сторонѣ реторты, затѣмъ они направляются съ верхней и задней стороны реторты, по другой продольной сторонѣ впередъ и наконецъ они идутъ подъ ретортой и выходятъ чрезъ дымовой ходъ (каналъ) въ дымовую трубу. Приводная трубка діаметромъ въ 25 мм. и состоитъ изъ двухъ изогнутыхъ колѣнъ; въ этой трубкѣ постоянно имѣется сырой матеріалъ, во избѣжаніе выхода газовъ.

Сырой матеріалъ предварительно подогрѣвается въ желѣзномъ сосудѣ со вставленнымъ рѣшетчатымъ дномъ, имѣющимъ цѣлью удерживать нечистыя примѣси его; отсюда онъ направляется тонкою струей въ воронку, вставленную въ приводной трубкѣ и затѣмъ уже въ реторту, нагрѣтую до краснаго каленія. Реторту необходимо очищать каждый день отъ коксовыхъ остатковъ извнутри и отъ сажи снаружи.

Подъемная труба, выводящая газы изъ реторты, имѣетъ внизу діам. въ 125 мм., вверху 100 мм. и входитъ въ сѣдлообразную трубку діам.



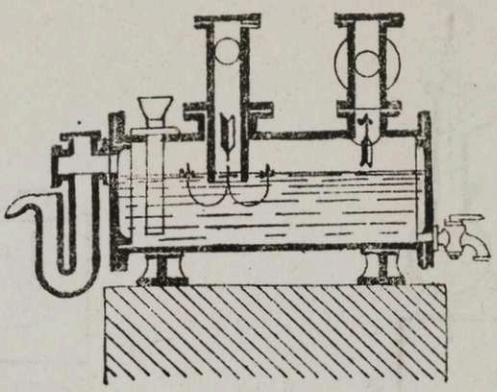
фиг. 653—655.

100 мм., погружающуюся на 40 до 50 мм. въ жидкость, содержащуюся въ гидравликѣ, съ цѣлью воспрепятствовать выходу газовъ.

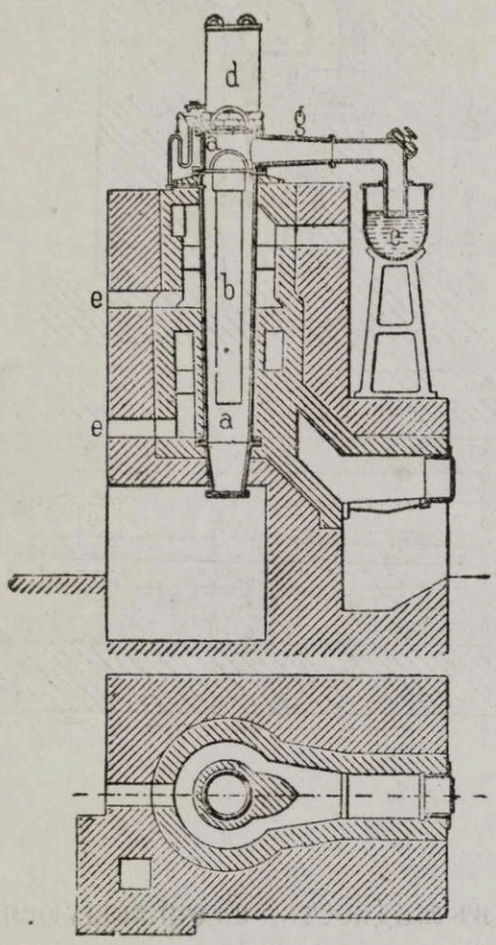
Кромѣ горизонтальныхъ ретортъ примѣняются еще и вертикальныя; устройство ихъ показано на черт. 657—658. Реторта *a* нижнимъ своимъ концомъ опирается на сводѣ; это дѣлается для того, чтобы дать ей опору, а также имѣть свободный къ ней доступъ. Запоръ нижняго конца роторты такой же, какъ въ горизонтальныхъ ретортахъ. Въ топкѣ имѣется обыкновенная наклонная колосниковая рѣшетка, для того чтобы по возможности уменьшить дѣйствіе пламени на реторту. Реторта *a* свободно поставлена посреди дымоваго (огненнаго) пространства, прерваннаго въ 4 мѣстахъ поперечными камнями (=кладкой), съ цѣлью подольше удерживать горячіе газы въ дымовомъ ходѣ. Въ *e* выходятъ 3 поперечные канала, запираемые чугунными коробками и служащіе для очистки отъ золы и наблюденія за температурой реторты.

Висящей внутри реторты трубкой *b* все пространство реторты дѣлится на 2 цилиндрическихъ, изъ которыхъ наружный цилиндръ открывается только внизу, а внутренній только вверху. Изогнутая трубочка *f* открывается вверху въ противулежащихъ точкахъ наружнаго кольца реторты. Превращаемый въ газъ матеріалъ (=нефть) заключается въ сосудѣ *d*, стоящемъ надъ печкой. Газы, производимые въ *a*, проходятъ черезъ *b* и выводящую трубу *g* въ гидравлику (или пріемникъ) *c*, откуда уже ихъ направляютъ въ скрубберъ, очиститель и т. д.

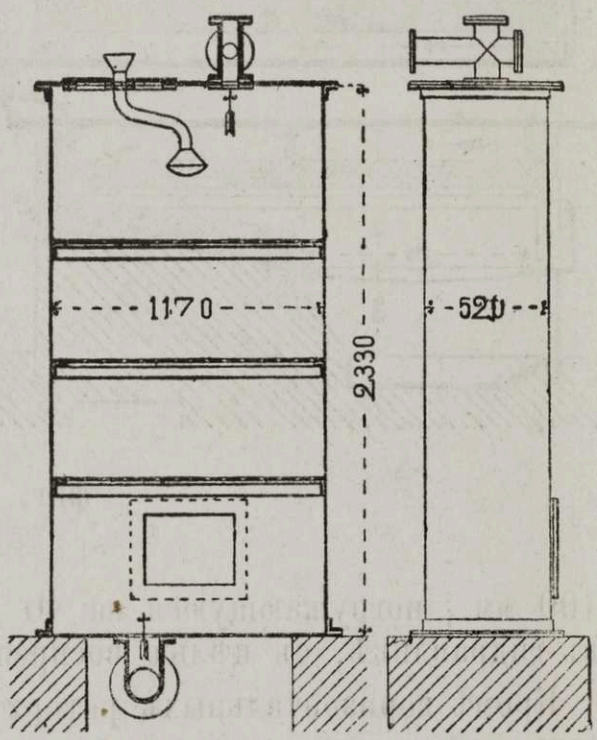
Пріемникъ (лежакъ) длиною въ 870 мм., при діам. въ 300 мм. снабженъ вверху двумя колѣнчатыми трубками (для погружающейся въ



фиг. 656.



фиг. 657—658.



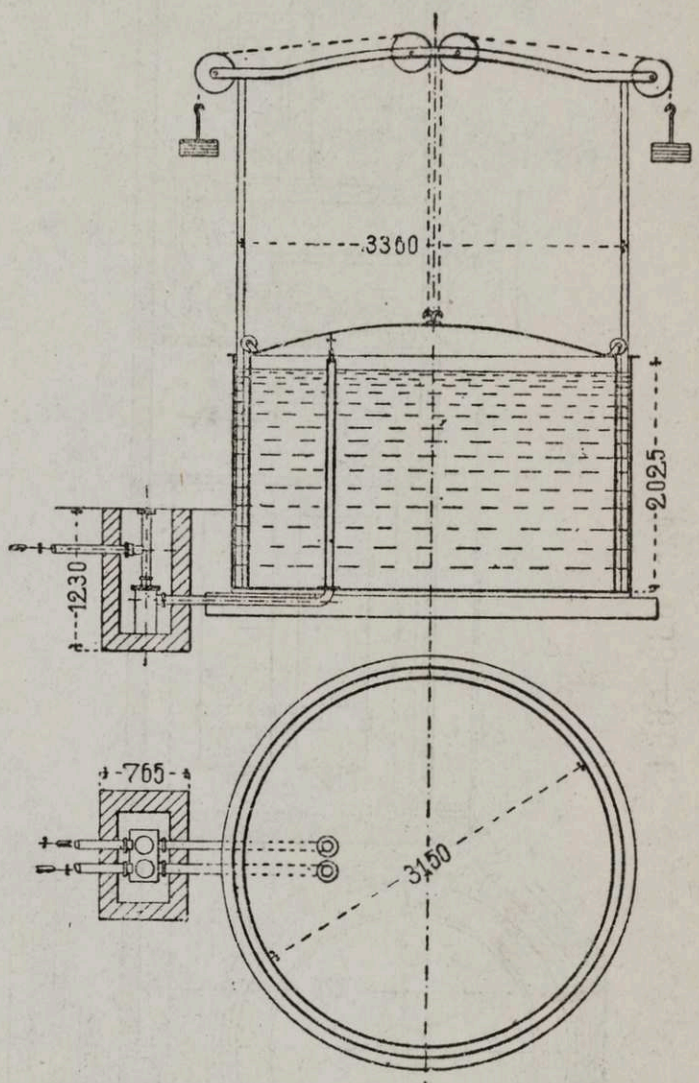
фиг. 659—660.

него трубы и для выходящихъ газовъ), а съ боковъ 2 крышками; одна изъ нихъ имѣетъ сифонную трубку для стока конденсаціонной жидкости.

Послѣ того какъ газъ прошелъ сквозь пріемникъ, его необходимо охлаждать, чтобъ удалить заключенную въ немъ смолу. Для этой цѣли служитъ скрубберъ (фиг. 659—660), желѣзный сосудъ сѣченія 1,17 мет. + 0,52 м. при высотѣ въ 2,33 м. Въ этотъ сосудъ вставляются нѣсколько продыравленныхъ круговъ; отверстія діам. 25 мм. Газъ притекаетъ внизу черезъ трубу діам. въ 125 мм. и выходитъ вверху черезъ трубу въ 75 мм. Къ верхней крышкѣ укрѣплена трубочка, черезъ которую постоянно тонкой струей падаетъ вода на продыравленное дно. Смола и вытекающая вода выводятся черезъ сифонную трубку. Для охлажденія газу достаточно пробыть въ скрубберѣ около 10 мин.

Если газъ примѣняется для освѣщенія жилыхъ помѣщеній, курортовъ и т. д., то его необходимо предварительно пропустить черезъ соотвѣтственный небольшой очиститель. Очиститель есть желѣзный ящикъ размѣрами 935 мм. на 875 мм. и высотою въ 875 мм. съ 3 перегородками изъ грубой плетянки въ разстояніи 260 мм. Очистительнымъ матеріаломъ служитъ гашенная известь.

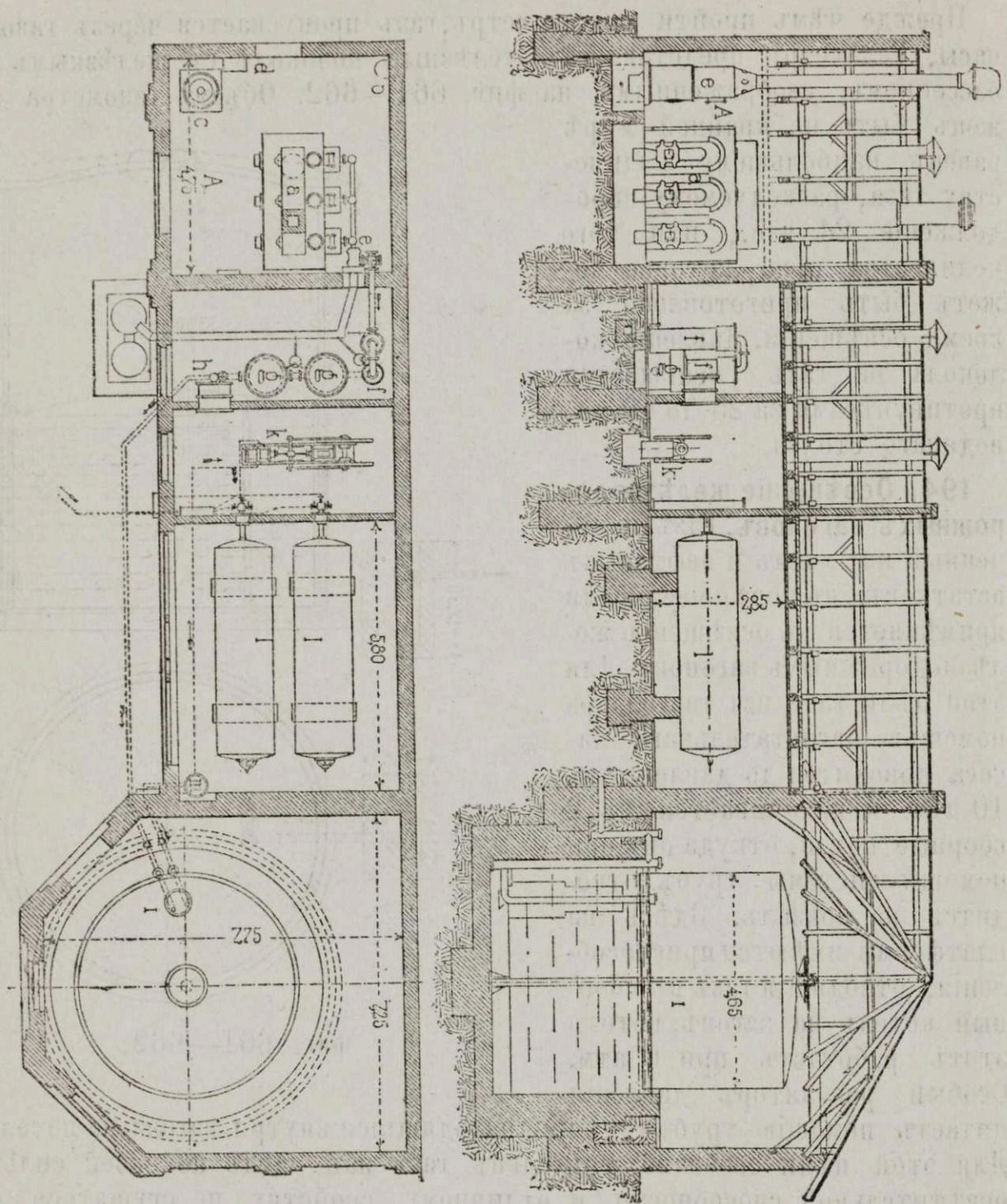
Прежде чѣмъ пройти въ газометръ, газъ пропускается черезъ газовые часы. Газометръ представляетъ желѣзный колоколъ съ желѣзнымъ же бассейномъ, изображеннымъ на фиг. 661—662. Объемъ газометра долженъ быть по крайней мѣрѣ равенъ наибольшему количеству газа, расходуемому впродолженіе 24 час., или того количества газа, которое можетъ быть приготовлено за время освѣщенія. Давленіе колокола на газъ уменьшается противувѣсами за 25 до 40 мм. водянаго столба.



фиг. 661—662.

194. Освѣщеніе желѣзнодорожныхъ вагоновъ. Газъ, полученный изъ маслъ и нефтяныхъ остатковъ, въ новѣйшее время примѣняется къ освѣщенію желѣзнодорожныхъ вагоновъ. Для этой цѣли газъ изъ газголдера помощью нагнетательнаго насоса доводится до давленія въ 10 атм. и накачивается въ 2 сборные котла, откуда онъ при помощи системы трубъ отводится на вокзалъ. Здѣсь на платформѣ имѣются приспособленія, отводящія газъ въ сборный котелъ на вагонѣ; котелъ этотъ работаетъ при 6 атм. Особый регуляторъ давленія питаетъ помощію трубъ горѣлки, находящіяся внутри вагона на потолкѣ. Для этой цѣли особенно пригоденъ газъ изъ маслъ по своей сильной освѣтительной способности и отличному свойству не сгущаться при высокомъ давленіи и большомъ холодѣ. Такая газовая горѣлка для желѣзнодорожныхъ вагоновъ стоитъ 0,875 коп. въ часъ, между тѣмъ какъ обыкновенная масляная лампа обходится въ 2,875 коп.

Чер. 663 представляетъ продольный разрѣзъ, чер. 664 планъ газоваго завода для освѣщенія желѣзнодорожныхъ вагоновъ. Въ ретортномъ пространствѣ A кромѣ ретортной печи a и насоса для накачиванія масла b находятся еще паровой котелъ c и паров. питател. насосъ d. Затѣмъ газъ направляется въ холодильникъ e и скрубберъ f, проходитъ черезъ очистители g, газовые часы h и газголдеръ i. Отсюда газъ проходитъ еще черезъ холодильникъ m, чтобъ охлаждаться передъ сжатіемъ и затѣмъ проходитъ въ нагнететельный насосъ k. Этотъ послѣдній накалив. газъ при давл. въ 10 атм. въ пару сборныхъ котловъ l, имѣющіе вмѣстѣ вмѣстимость въ 12 к. м.; отсюда уже онъ проводится въ вагоны. Такое устройство находится въ дѣйствіе на станціи Вѣна Западной дороги.



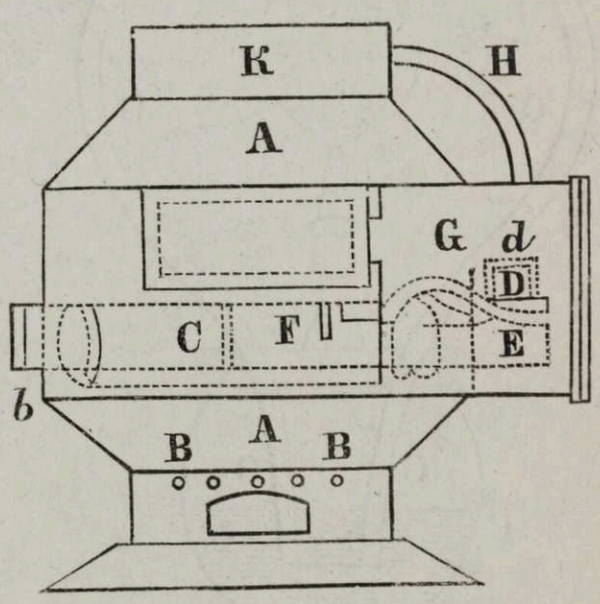
фиг. 663—664.

195. Проводныя трубы для газа изъ маслъ должны быть тоньше трубъ для газа изъ каменнаго угля, потому что первый обладаетъ большей силой свѣченія. При 90 метр. длины для 500 горѣлокъ достаточна труба 50 мм. толщины, для 100 до 200 огней—30 мм.; уже 13 мм. трубы не слѣдуетъ дѣлать ни въ какомъ случаѣ. Отвѣтвленныя трубки для 10 до 20 горѣлокъ должно брать 8 мм. толщины для 5 до 8 огней — 6 мм. для одного или 2 горѣлокъ—4 мм.

Нормальная горѣлка для газа изъ масла есть разрѣзная 1 куб. футовая съ щелью шириною 1,75 мм. Самая маленькая горѣлка—на 1 куб. футъ. Выгодны также горѣлки съ двумя отверстіями и Аргандовы горѣлки съ отверстіями 0,3 мм. ширины. Такъ какъ пламя газа изъ маслъ получаетъ газъ подъ слабымъ давленіемъ, то оно очень чувствительно къ колебаніямъ воздуха; поэтому его нужно покрыть стекляннымъ колпакомъ.

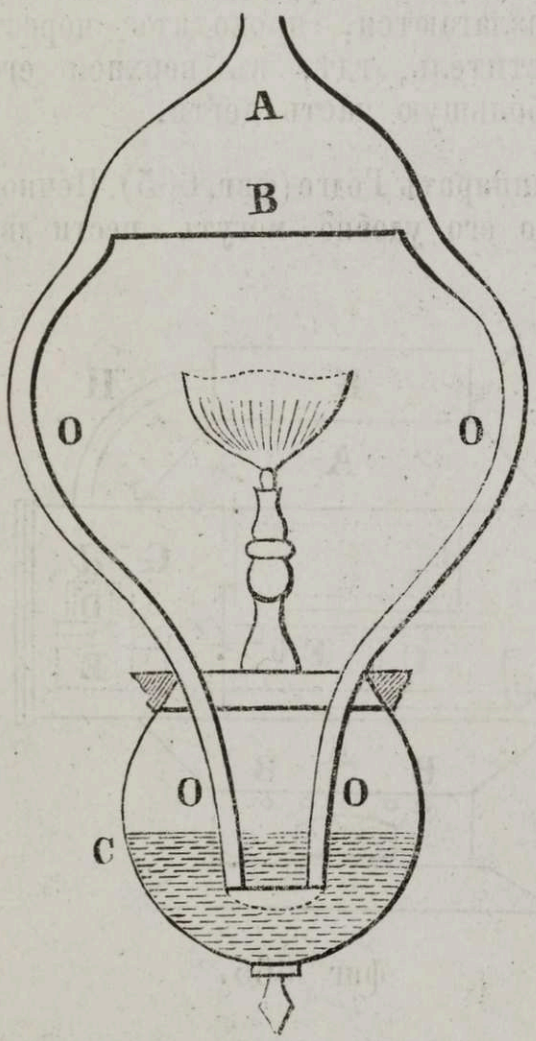
196. Практичный приборъ для полученія газа построилъ Гирцель; въ немъ, какъ особая составная часть, является такъ называемый увеличитель газа, состоящій изъ *U* образной реторты, вертикально вмазанной въ печь; реторта наполнена кусками кокса величиною съ орѣхъ и накаливается одновременно съ лежачей главной ретортой до краснаго каленія пламенемъ, отведеннымъ отъ послѣдней. Во время производства вода, по каплямъ впускаемая въ эту реторту, превращается въ ней въ паръ, разлагающійся во время прохожденія черезъ раскаленный коксъ на водородъ и кислородъ, на счетъ котораго изъ угля образуется окись углерода. Газы эти проводятся въ лежачую реторту, гдѣ смѣшиваются съ парами подвергающагося сухой перегонкѣ масла (нефтяные остатки, параффинное масло и т. д.), и при разложеніи послѣднихъ или при обращеніи въ газъ маслъ дѣйствуютъ такимъ образомъ, что чрезъ доступъ водорода превращаютъ часть содержащагося въ маслѣ избыточнаго углерода, которая бы иначе выдѣлилась въ видѣ дегтя, въ лучшій свѣтильный газъ. Такимъ образомъ при содѣйствіи газоваго увеличителя изъ масла выдѣляется фактически меньше дегтя, но за то газа лучшаго или по меньшей мѣрѣ такого же качества получаютъ на 15 до 20% больше, нежели при добываніи безъ этого вспомогательнаго аппарата. Для добыванія свѣтильнаго газа изъ чистаго масла или петролеума пригоденъ въ особенности аппаратъ Сукова. Онъ состоитъ изъ стоячей конусообразной чугунной реторты, черезъ дно которой масло въ видѣ пара притекаетъ изъ внѣ стоящаго резервуара по трубкѣ, проходящей черезъ пламенное пространство. Пары разлагаются, проходятъ черезъ горло реторты и идутъ дальше въ очиститель, гдѣ, въ верхней его части, охлаждаемой водой, оставляютъ большую часть дегтя.

197. Для малаго производства пригоденъ аппаратъ Годге (фиг. 665). Печной корпусъ *A* имѣетъ такую величину, что его удобно могутъ нести два человѣка; внутри онъ имѣетъ рядъ ретортъ *C*, расположенныхъ надъ рѣшеткой такъ, что подвергаются равномѣрной высокой температурѣ. Каждая реторта снабжена на обоихъ концахъ гидравлическими затворами *D*. Къ ретортамъ прилиты трубки *E*, которыя находятся въ соединеніи съ резервуаромъ для масла. Уставъ каждой трубки *E*, имѣется доска *F*, въ которую ударяетъ притекающее масло и разбрызгивается; затѣмъ масло въ такомъ измельченномъ состояніи падаетъ на дно раскаленной реторты и превращается въ газъ. Каждая печь имѣетъ запорную камеру *G*, куда входятъ концы ретортъ, снабженныхъ гидравлическими запорами. Труба *H* соединяетъ эту камеру съ дымовой трубой печи *K*.



фиг. 665.

198. Освѣщеніе смѣшаннымъ газомъ. Смѣшанный газъ получается смѣшеніемъ газа изъ каменнаго угля и масла. Это смѣшеніе было предложено тому лѣтъ 15 Либау въ Магдебургѣ, а Рувелемъ и докт. Кольманомъ было дознано, что употребленіе такого газа представляетъ значительныя выгоды экономическія, что пламя этой смѣси не коптитъ, не тушится легко и обладаетъ однако большой силой свѣченія. Взявъ смѣсь изъ 90% газа изъ каменнаго угля и 10% газа изъ масла, достигаютъ на 40% большій эффектъ, чѣмъ при употребленіи одного только газа изъ каменнаго угля. Либау предложилъ составъ для такъ называемаго смѣшаннаго газа изъ 1 части — изъ масла и 2 частей — изъ каменнаго угля, причемъ преобладающій характеръ будетъ на сторонѣ первой составной части, это значитъ, что газъ преимущественно сжигается въ малыхъ горѣлкахъ. Размѣры и затраты для его полученія незначительно больше, чѣмъ для газа изъ масла, свѣтъ почти такой же интенсивности, но зато текущіе расходы по производству на 30, на 50% меньше. Для добыванія смѣшаннаго газа реторту, по достиженіи требуемой температуры, наполняютъ каменнымъ углемъ и, послѣ 2-хъ часовой перегонки, впускаютъ въ нее масло, затѣмъ ее нагрѣваютъ до краснокалильнаго жара. Весь процессъ заканчивается послѣ 4-хъ 5-ти часовъ, и газъ добытъ. Перегонка обоихъ матеріаловъ въ одной ретортѣ представляетъ то преимущество, что могущіе образоваться остатки плотно садятся на коксъ и вмѣстѣ съ нимъ могутъ быть легко удалены изъ реторты, отъ чего послѣдняя всегда чиста и служитъ болѣе продолжительное время. Газъ идетъ черезъ промывательный аппаратъ и известковый очиститель въ газовый собиратель.



фиг. 666.

199. Воздушный газъ и альбокарбонгазъ. Воздушный газъ это воздухъ, насыщенный парами углеводородовъ изъ газолина, бензина, нефти или парами эфира, и получающаяся газообразная смѣсь горитъ свѣтящимся пламенемъ.

Нужный для приготовленія этой смѣси токъ воздуха, которымъ увлекаются горючіе пары летучей жидкости, доставляется мѣхами, воздушными насосами, газометрами и другими подходящими снарядами. Для болѣе тѣснаго внутренняго соприкосновенія воздуха и паровъ углеводородной жидкости смѣсь пропускаютъ черезъ камеры, наполненныя пористыми веществами.

Такого рода аппаратъ для освѣщенія есть газолиновая лампа Эртле и Роллера въ Амбергѣ (фиг. 666).

Воздухъ проводится черезъ трубу *A* въ нагрѣваемую пламенемъ пустоту *B*, гдѣ онъ предварительно соотвѣтственнымъ образомъ нагрѣвается. По трубкамъ *OO* воздухъ проходитъ въ резервуаръ *C*, наполненный газолиномъ и насыщается здѣсь горючими парами; такимъ образомъ полученный, „воздушный газъ“ поступаетъ затѣмъ въ горѣлку *B*.

Изобрѣтенное Віолэ въ Гамбургѣ освѣщеніе „альбокарбонгазомъ“ основывается на улучшеніи обыкновеннаго свѣтильнаго газа, не развивающаго наибольшей силы свѣта, углеводородными парами. Этимъ процессомъ достигается значительное улучшеніе малоцѣннаго свѣтильнаго газа безъ необходимости въ измѣненіи трубъ, газовыхъ часовъ и т. д.; вблизи горѣлки приспособляютъ только сосудъ, содержащій углеводородный матеріалъ (альбкарбонматеріалъ), черезъ который проходитъ улучшающійся газъ и который нагрѣвается. Отъ нагрѣванія углеводородъ плавится, развиваются затѣмъ пары, смѣшивающіеся съ газомъ, отъ чего получается смѣсь, которая при одинаковомъ расходѣ газа имѣетъ отъ 2—4 разъ болѣе свѣтящееся пламя, чѣмъ при употребленіи одного свѣтильнаго газа. Тамъ, гдѣ нѣсколько огней расположено въ маленькомъ кругѣ, достаточенъ одинъ сосудъ, и средній результатъ таковъ, что достаточно зажечь половину преждегорѣвшихъ огней для достиженія обыкновенной яркости. Упомянутый матеріалъ, который вносится въ сосудъ въ видѣ твердаго тѣла, есть исключительно для этой цѣли приготовленный и отлитый въ формахъ нафталинъ, который не взрываетъ и совершенно безопасенъ. Во время горѣнія нѣтъ никакого дурнаго запаха, не получается никакихъ остатковъ, сосудъ поэтому можно тотчасъ же опять наполнить, когда онъ опорожнится. Сосудъ нагрѣвается или особой маленькой горѣлкой или отъ нагрѣтой свѣтящимъ пламенемъ жестянки, приклепанной къ сосуду.

При сильномъ расходѣ наполненіе должно послѣдовать разъ въ каждые 4—5 дней.

200. Отношеніе, въ какомъ стоятъ между собою свѣтильные матеріалы по ихъ достоинству. Достоинство горючихъ матеріаловъ опредѣляется отношеніемъ стоимости къ силѣ свѣченія, причемъ послѣдняя принимается въ разсчетъ какъ продуктъ интенсивности свѣта и расхода матеріала. Сила свѣченія находится въ прямомъ отношеніи къ силѣ свѣта и въ обратномъ отношеніи къ расходу матеріала. Достоинство свѣченія выражается или количествами свѣта, который, при одинаковыхъ денежныхъ затратахъ, добывается изъ различныхъ матеріаловъ или же размѣромъ цѣны для равныхъ количествъ свѣта. Послѣднее весьма употребительное выраженіе получается, если мы произведеніе изъ расхода матеріала, единицы стоимости его и требуемой силы свѣта раздѣлимъ на нормальное достоинство свѣта. Маркъ даетъ въ Dinglers Polytechnischen Journal, томъ 166, стр. 348 силу свѣченія цѣлаго ряда свѣтильныхъ веществъ:

Требуется, напримѣръ, освѣтить большое пространство силою свѣта въ 500 нормальныхъ свѣчей петролеумомъ или газомъ. Сколько потребуется огней въ первомъ и во второмъ случаѣ?

Для перваго случая, принимая 30 м. за 100 кгр., будемъ имѣть на основаніи вышеприведенной таблицы издержки въ каждый часъ.

$$\frac{0{,}03.15{,}1.500}{3{,}2} = 70{,}88.$$

Для газа изъ каменнаго угля, если онъ при 130 литровъ расхода въ часъ обнаруживаетъ силу свѣта въ 12 свѣчей и если куб. метръ его стоитъ 12 пф., то въ каждый часъ освѣщеніе обойдется въ

$$\frac{22.0.13.500}{12} = 120 \text{ пф.}$$

НАЗВАНІЯ МАТЕРІАЛОВЪ.	Часовой расходъ въ грам.	Часовой расходъ въ литр.	Сила свѣта въ нормальн. свѣчахъ.
Штутгартская нормальн. восковая свѣча.	7,75	—	1
Стеариновая свѣча 4-ковая	9,50	—	0,9
Стеариновая свѣча 5-ковая	9,95	—	1 0
Парафиновая свѣча..	7,20	—	1,1
Американскій керосинъ	15,10	—	3,2
Масло изъ сланцевыхъ углей	14,50	—	3,0
Фотогенъ	14,30	—	3,0
Рѣпное масло	19,90	—	2,8
Газъ изъ угля	—	127,35	10,0
Газъ изъ петролеума	—	28,	12,2
Газъ изъ горнаго масла	—	28,	11,3

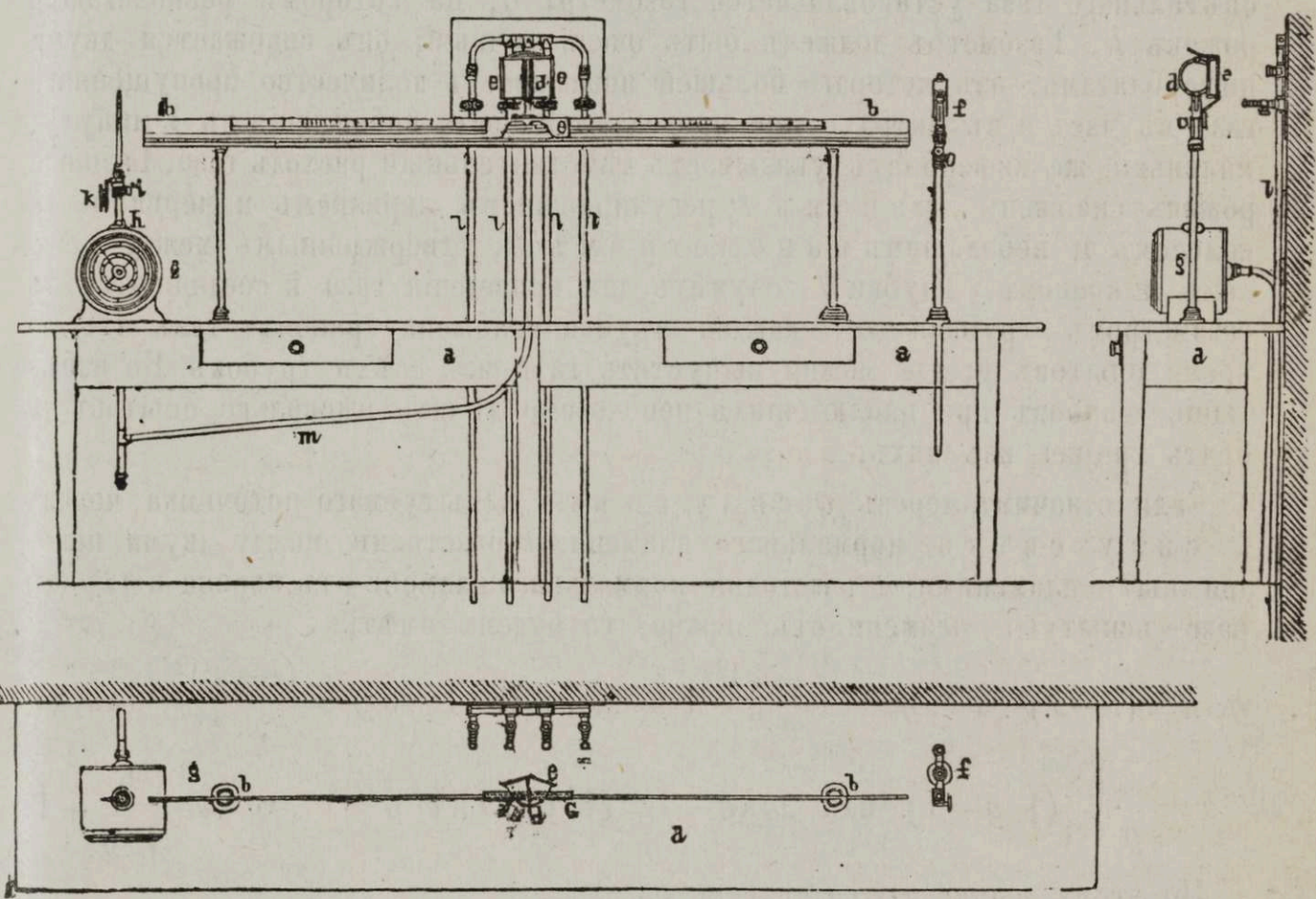
201. Условія наибольшей силы свѣченія газоваго пламени. Газъ содержитъ извѣстное количество углерода, химически соединеннаго съ водородомъ. Горѣніе газа у отверстія горѣлки даетъ количество теплоты, достаточное для разложенія углеводородовъ Уголь раздѣляется на мельчайшія частички и, нагрѣваясь выдѣляющеюся при горѣніи теплотой до сильнаго бѣлаго каленія, является въ видѣ пламени. Только при извѣстныхъ условіяхъ пламя достигаетъ своей максимальной силы свѣченія. Оно должно имѣть такую форму, чтобы частички притекающаго газа находились на пути горѣнія въ постоянномъ соприкосновеніи съ атмосфернымъ воздухомъ, поэтому сжиганіе газа должно быть скорое и совершенное. Для этой цѣли атмосферный воздухъ долженъ при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ притекать къ горѣлкѣ искусственнымъ образомъ. Горѣніе газа не должно быть однако слишкомъ скорое, иначе происходитъ потеря въ силѣ свѣченія, такъ какъ частички углерода не успѣли бы принять необходимую сильную степень бѣлаго каленія и удалились бы еще раньше превращенія ихъ въ углекислоту. Съ другой стороны, при слишкомъ слабомъ или медленномъ доступѣ воздуха пламя, за отсутствіемъ углекислоты, не могло бы получить температуры бѣлаго каленія; вслѣдствіе этого тончайшія частички углерода удаляются частью въ видѣ дыма. Много зависитъ при этомъ отъ формы горѣлки, ибо это фактъ, что посредствомъ цѣлесообразной горѣлки можно получить пламя въ 2—3 раза болѣе сильное, чѣмъ при плохой горѣлкѣ, считая расходъ газа для обѣихъ горѣлокъ одинаковымъ. Вообще можно замѣтить слѣдующія обстоятельства, которыя способствуютъ образованію свѣта:

1) Пламя должно имѣть возможно большую поверхность, потому что горѣніе и соединенное съ нимъ свѣченіе происходитъ только на поверхности соприкосновенія воздуха съ пламенемъ;

2) Пламя должно имѣть возможно болѣе высокую температуру, потому что выдѣленіе свѣта возрастаетъ съ повышеніемъ температуры, для чего предпочитаютъ доставлять воздухъ, предварительно сильно нагрѣтый.

3) Вытеканіе газа черезъ отверстіе не должно быть слишкомъ скорое, потому что газъ требуетъ опредѣленнаго времени для достиженія температуры горѣнія (т. е. температуры, при которой происходитъ соединеніе углерода съ атмосфернымъ воздухомъ).

202. Измѣреніе освѣтительной силы пламени (Фотометрія). Употребительнѣйшій инструментъ для измѣренія свѣта есть фотометръ Бунзена (фиг. 667—669). Онъ основывается на томъ, что жировое



Фиг. 667—669.

пятно, нанесенное на бумагу, при отраженномъ свѣтѣ кажется темнѣе, а при проходящемъ свѣтлѣе остальной бумаги. Чтобы воспользоваться этимъ фактомъ ставятъ бумажную ширму, мѣстами пропитанную масломъ, между двумя зеркалами, наклоненными другъ къ другу подъ угломъ 45^0; заключаютъ все это въ призматическую трубку такъ, чтобы наблюдатель могъ видѣть въ одно и тоже время изображеніе ширмы съ обѣихъ сторонъ. Съ одной стороны этой призматической трубки на опредѣленномъ разстояніи отъ бумажной ширмы ставятъ нормальное пламя, съ другой — измѣряемое пламя. Бумажный щитъ, расположенный такимъ образомъ между двумя огнями, можетъ передвигаться по скалѣ, и его устанавливаютъ такъ, чтобы такъ называемое жировое пятно перестало быть видимымъ; а это случится, разъ обѣ стороны ширмы будутъ одинаковы освѣщены. По скалѣ отсчитываютъ затѣмъ разстоянія бумажной ширмы отъ обоихъ источниковъ.

Шкала для свѣтоваго масштаба состоитъ изъ горизонтальной линейки l, расположенной надъ столомъ a на колонкахъ; на линейкѣ помѣщаются подвижные салазки c и рама d, поставленная вертикально (перпендикулярно) къ продольной плоскости линейки; на этой рамѣ натягивается бумага пропитанная просаленнымъ пятномъ. Далѣе на салазкахъ расположено угловое зеркало l, такъ что плоскость рамы совпадаетъ съ плоскостью, дѣлящей уголъ зеркала пополамъ. Въ f поставленъ подсвѣчникъ, такъ что средняя плоскость свѣчи расположена (вертикально) перпендикулярно къ срединѣ бумажнаго экрана. Для цѣлаго ряда опытовъ вмѣсто нормальной свѣчи приспособляется нормальный газовой рожокъ. На противоположномъ концѣ линейки устанавливается испытуемый свѣтовой источникъ; при изслѣдованіи свѣтильнаго газа установливается газометръ g, на которомъ располагаютъ рожокъ h. Газометръ долженъ быть очень точный; онъ снабжается двумя циферблатами, изъ котораго большей показываетъ количество пропущеннаго газа въ часъ и въ литрахъ при продолжительности наблюденія въ 1 минуту; маленькій же циферблатъ указываетъ дѣйствительный расходъ газа. Газовый рожокъ снабженъ краномъ i; регулированымъ червякомъ и червячнымъ колесомъ и небольшимъ манометромъ k, утвержденнымъ между рожкомъ и краномъ. Трубки l, служатъ для проведенія газа и соединяются съ газометромъ трубкой m; каждая трубка снабжена краномъ, такъ что во время опытовъ всегда можно выпустить газъ изъ всѣхъ трубокъ. Во избѣжаніе ошибокъ при наблюденіяхъ необходимо дѣлать нѣсколько опытовъ и брать среднее изъ нихъ.

Если означимъ черезъ g силу свѣта испытуемаго источника, черезъ k силу свѣта нормальнаго пламени, l разстояніе между двумя неподвижными пламенями, x разстояніе нормальнаго пламени отъ экрана и $(l-x)$ разс. испытуем. пламени отъ экрана, то будемъ имѣть:

$$g : k = (l-x)^2 : x^2;\ g = \frac{(l-x)^2}{x^2}\,k$$ примемъ $k=1$; то $$g = \frac{(l-x)^2}{x^2};$$ откуда

$$x = \frac{1}{g-1}(\sqrt{g}-1)$$ или $$mkg-1 = (\sqrt{g}-1)(\sqrt{g}+1),$$ то $$x = \frac{1}{\sqrt{g}}+1.$$

По этому вычисляются дѣленія шкалы.

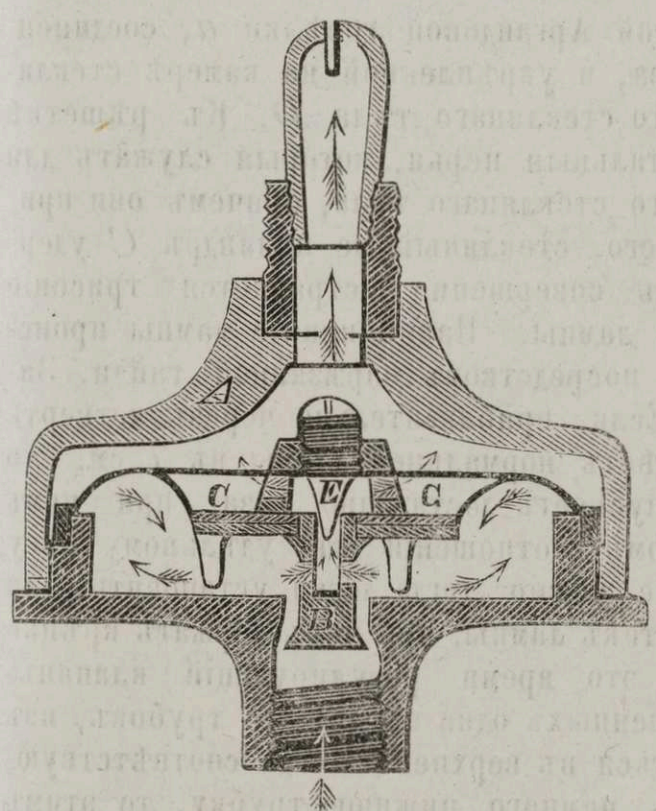
Фотометръ особенно пригоденъ для измѣренія силы свѣта двухъ горѣлокъ при употребленіи одинаковаго сорта свѣтильнаго газа. Можно при этомъ посовѣтовать для нормальнаго пламени употреблять горѣлку съ однимъ отверстіемъ, при которой долженъ быть установленъ регуляторъ для поддерживанія пламени во время опыта на одной высотѣ.

Фотометръ слѣдуетъ устроить съ особенной тщательностью, употребляютъ для этого листъ чисто-бѣлой, одинаково просвѣчивающей бумаги, а просвѣчивающее мѣсто на немъ дѣлаютъ растворомъ парафина въ петролеумѣ, при чемъ растворъ наносятъ кисточкой съ обѣихъ сторонъ листа.

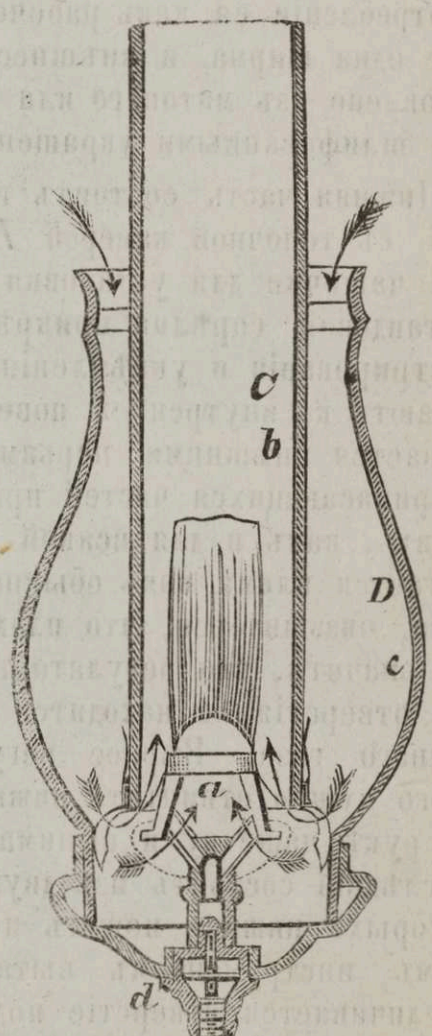
Для сравненія различныхъ родовъ газа употребляютъ дифференціальный фотометръ, при которомъ сжигаютъ различные сорта газа въ одной и той же нормальной горѣлкѣ и сравниваютъ съ нормальной спермацетовой свѣчой. При этомъ нужно наблюдать, чтобы газъ горѣлъ съ тѣмъ же цвѣтомъ какъ и свѣча. Для опредѣленія расхода газа, его доставляютъ въ горѣлку посредствомъ цѣлесообразно устроеннаго газометра, въ которомъ давленіе

газа поддерживается особымъ регуляторомъ постоянно на высотѣ 5 мм. Высота пламени нормальной свѣчи во время опыта должна быть тоже постоянная—50 мм., и отклоненія должны быть принимаемы во вниманіе. Какъ нормальная горѣлка употребляется Аргандова, въ которой газъ сгораетъ съ максимальной силой свѣченія.

203. Устройство горѣлки съ самодѣйствующимъ регуляторомъ. По точно признанному газотехниками принципу, газовая горѣлка должна сжигать газъ подъ весьма незначительнымъ давленіемъ независимо отъ давленія въ газопроводахъ. И такъ чтобы регулировать давленіе, подъ которымъ газъ находится въ проводахъ, нужно соединить горѣлку со снарядомъ, который бы болѣе или менѣе уменьшалъ каналы, доставляющіе газъ въ сжигательную камеру. Подобный самодѣйствующій снарядъ изобрѣлъ Зуггъ; горѣлка, снабженная этимъ регуляторомъ, изображена въ вертикальномъ разрѣзѣ на фиг. 670. Газъ притекаетъ снизу и обходитъ конусъ *B*., привѣшенный на пластинкѣ въ нижней части регулятора. Діафрагма имѣетъ въ срединѣ жестяный кружокъ, въ которомъ установленъ на верху пустой и съ боковыми отверстіями стержень клапана *C*. Черезъ эту пустоту газъ течетъ вверхъ сначала въ колпачокъ, снабженный винтовой нарѣзкой и регулирующимъ конусомъ, затѣмъ черезъ боковыя отверстія—въ верхнюю часть регулятора, а оттуда въ горѣлку. Вмѣсто изображенной горѣлки съ узкимъ прорѣзомъ можно съ регуляторомъ соединить любую горѣлку. Весьма хорошее свойство этого регулирующаго аппарата заключается въ томъ, что можно совсѣмъ открыть кранъ и пламя не будетъ коптить, что



Фиг. 670.



Фиг. 671.

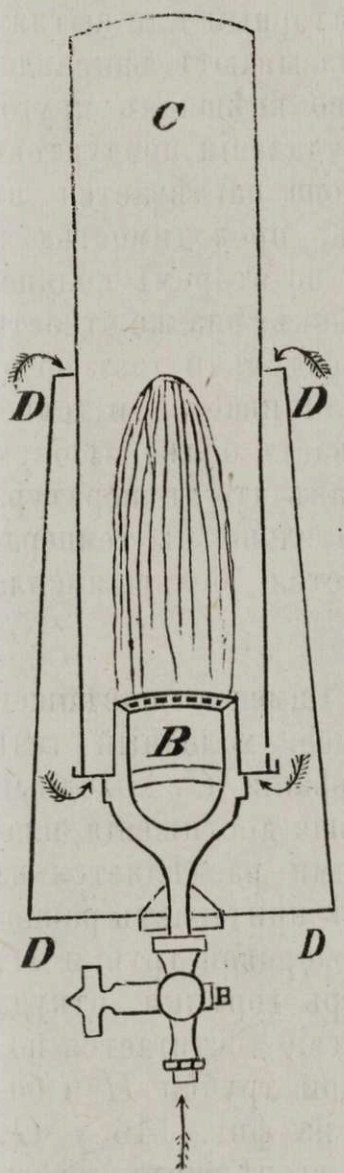
на пламя не производитъ вліяніе зажиганіе или тушеніе нѣсколькихъ огоньковъ на одномъ мѣстѣ и что наконецъ, здѣсь нѣтъ того непріятнаго жужжанія, которое имѣетъ мѣсто въ Аргандовой горѣлкѣ.

204. Регенеративныя горѣлки и ихъ устройство. Дѣйствіе регенеративныхъ горѣлокъ основывается на томъ, что яркость пламени возрастаетъ съ повышеніемъ температуры. Повышеніе же температуры можетъ быть достигнуто очень удобно предварительнымъ нагрѣваніемъ воздуха, необходимаго для горѣнія газа, на что можно утилизировать теплоту уносящихся сгорѣвшихъ газовъ. Наиболѣе старое устройство подобной регенеративной горѣлки предложено Франклandомъ еще въ 1854 г. Фиг. 671 представляетъ вертикальный разрѣзъ этого устройства. *B* есть Аргандова горѣлка, снабженная обыкновеннымъ стекляннымъ цилиндромъ *C*. Около 5 сантиметр. ниже выступа, поддерживающаго цилиндръ, укрѣпленъ вырѣзанный въ серединѣ стекляный кружокъ, на которомъ сидитъ нижнее коническое стекляное тѣло *D*. Этимъ достигается то, что воздухъ, поддерживающій горѣніе, проходитъ, какъ показываетъ стрѣлка, съ верхняго края усѣченнаго конуса *D* внизъ между нимъ и цилиндромъ *C* и на пути этомъ нагрѣвается, такъ что пламя питается предварительно нагрѣтымъ воздухомъ.

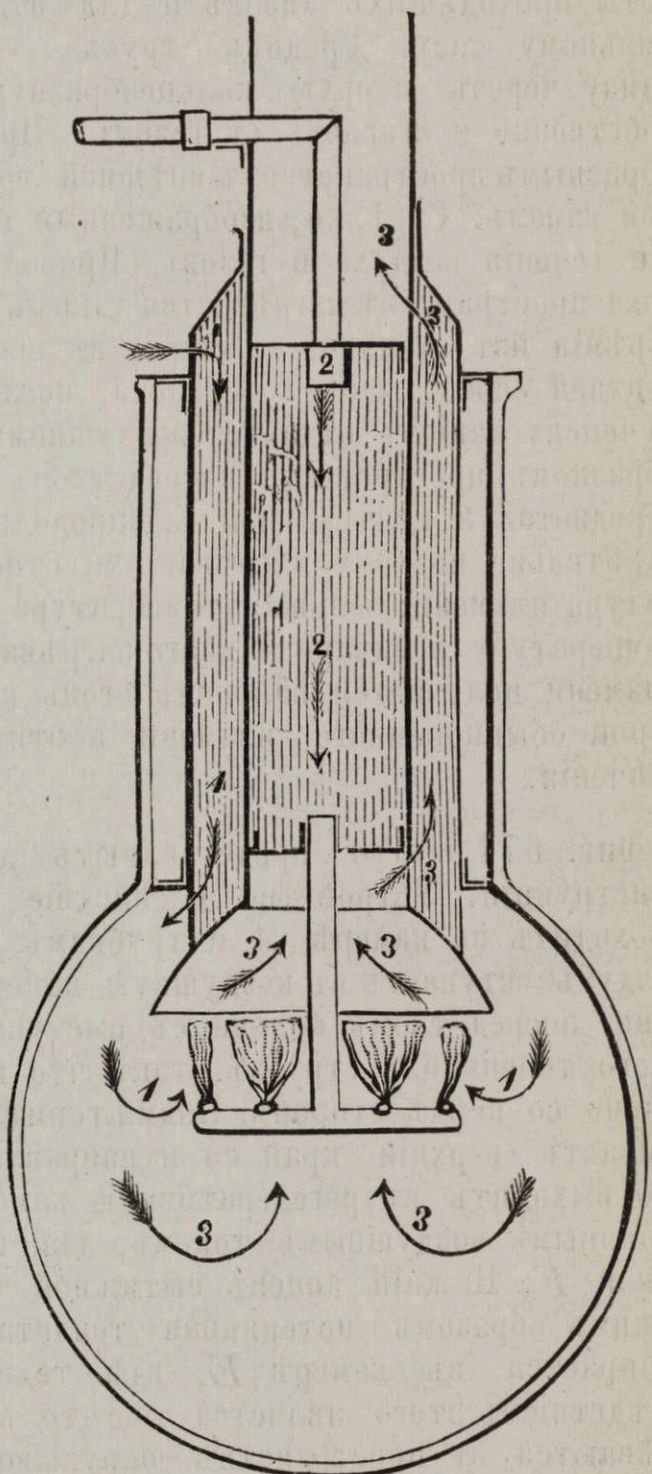
Эта Франклandова регенеративная горѣлка появилась вновь въ формѣ устроенной Мухалломъ и патентованной имъ такъ называемой калорической лампы фиг. 672. Эта калорическая лампа состоитъ, какъ и Франклandова горѣлка изъ трехъ отдѣльныхъ частей: нижней части (тарелки и горѣлки), внутренняго обыкновеннаго цилиндра и внѣшняго стекляннаго тѣла. При употребленіи ея какъ рабочей лампы для конторокъ и т. д. придѣлывается еще одна ширма, и внѣшнее стекляное изогнутое тѣло можетъ быть приготовлено изъ матоваго или молочнаго стекла и снабжено вытравленными или шлифованными украшеніями.

Нижняя часть состоитъ изъ простой Аргандовой горѣлки *a*, соединенной съ топочной камерой *D* для газа, и укрѣпленной на камерѣ стекляной чашечки для установки внѣшняго стекляннаго тѣла *D*. Къ рѣшеткѣ Аргандовой горѣлки прикрѣплены стальныя перья, которыя служатъ для центрированія и укрѣпленія внѣшняго стекляннаго тѣла, причемъ они прилегаютъ къ внутренней поверхности его, стекляный же цилиндръ *C* удерживается внѣшними перьями. Этимъ совершенно устраняется трясеніе соприкасающихся частей при качаніи лампы. Навинчиваніе лампы происходитъ, какъ и для всякой горѣлки, посредствомъ нарѣзанной гайки. Зажигается пламя какъ обыкновенно. Если, приблизительно черезъ четверть часа, оказывается, что пламя не имѣетъ нормальной длины въ 7 см., то это значитъ, что регуляторъ не пропускаетъ достаточно газа, при чемъ его отверстія не находятся въ вѣрномъ соотношеніи къ удѣльному вѣсу даннаго газа. Вѣрное регулированіе можно тогда легко установить, для этого нужно отвинтить нижній отростокъ лампы, при чемъ держатъ крѣпко въ рукѣ чашечку и вынимаютъ въ это время регулирующій клапанъ. Послѣдній состоитъ изъ двухъ вставленныхъ одна въ другую трубокъ, изъ которыхъ нижняя можетъ перемѣщаться въ верхней. Когда соотвѣтствующимъ инструментомъ вытаскиваютъ немного нижнюю трубку, то этимъ увеличивается отверстіе подъ основаніемъ клапана, отчего можетъ проходить большее количество газа. Обратно, если желаютъ, чтобы пламя коптило при совершенно открытомъ кранѣ, то трубочку нужно вдвинуть

немного. При послѣдующемъ завинчиваніи необходимо наблюдать, чтобы клапанъ былъ вѣрно установленъ, что бываетъ тогда, когда при вертикально поставленной нижней части полное отверстіе верхней трубки направлено кверху, а имѣющее маленькое отверстіе дно нижней трубки—книзу.



Фиг. 672.

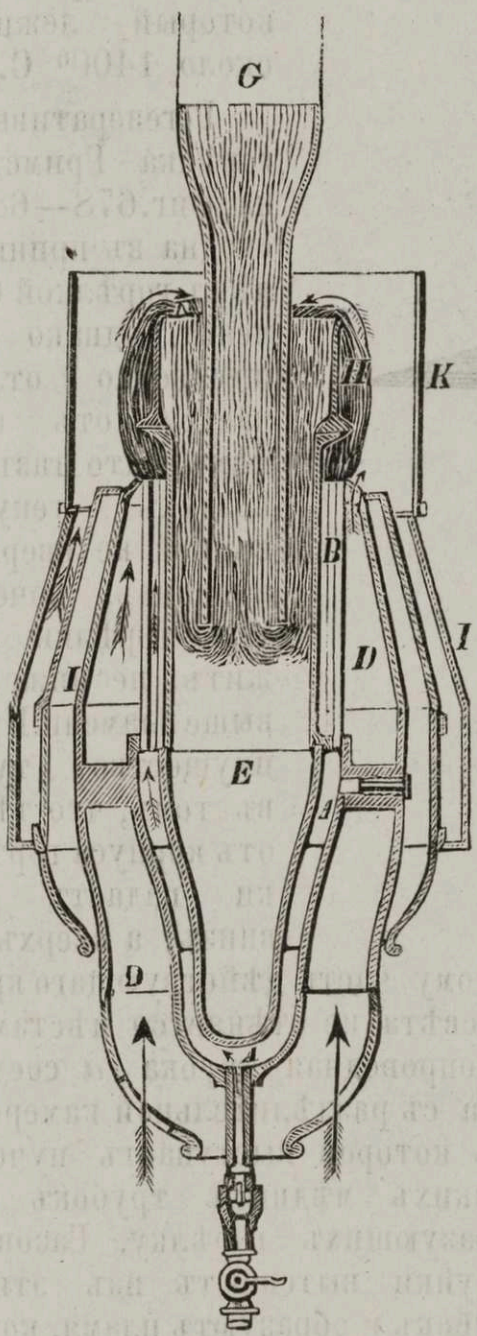


Фиг. 673.

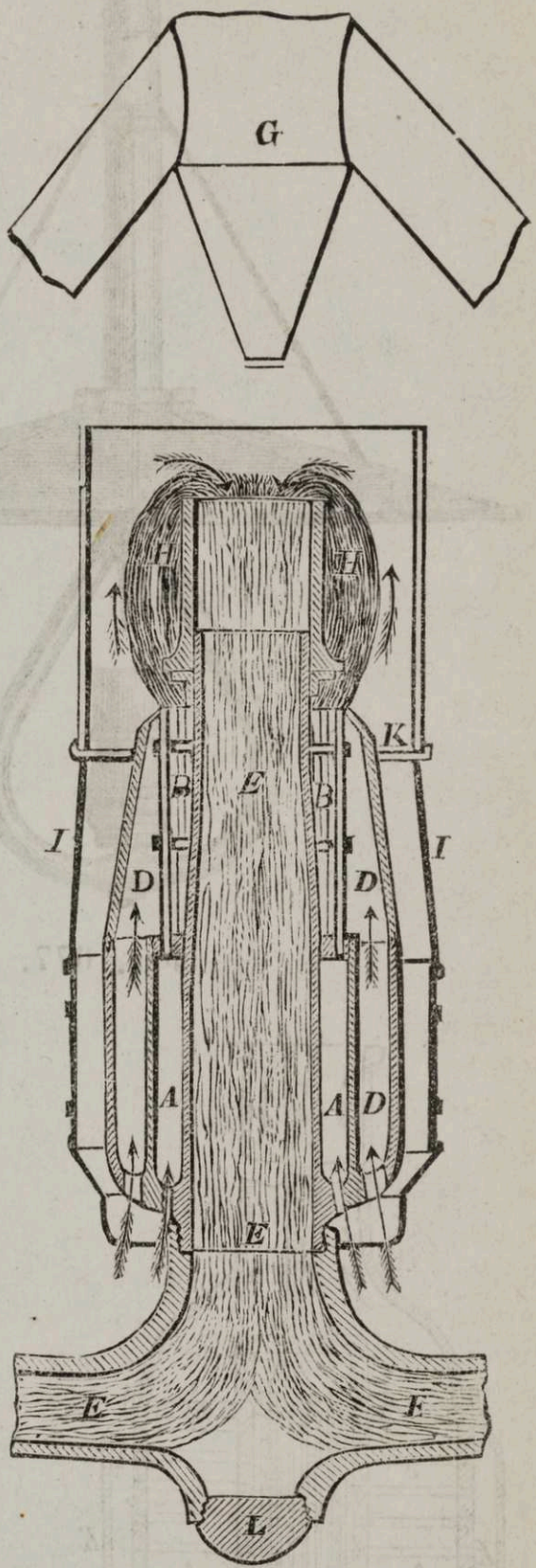
Сименскія регенеративныя горѣлки (фиг. 673—676) основываются на томъ, что газъ, какъ и воздухъ, служащій для его горѣнія, доставляется въ горѣлку собственнымъ теченіемъ и при этомъ предварительно нагрѣваются теплотою продуктовъ сгоранія, которая обыкновенно пропадаетъ даромъ.

Фиг. 673 изображаетъ старинной конструкціи висячую лампу, которая состоитъ изъ трехъ концентрическихъ трубъ и стоящаго на нихъ стеклянаго шара. Въ верхней части стеклянаго шара устраивается обыкновенная горѣлка съ шестью огнями. Все заштрихованное между трубками пространство наполнено проволочною тканью и называется изобрѣтателемъ регенераторомъ. Это пространство служитъ для воспринятія теплоты проходящихъ газовъ и для отдачи ея здѣсь же воздуху и свѣтильному газу. Средняя трубка — газопроводная; воздухъ проходитъ снизу черезъ вторую кольцеобразную трубку, входитъ въ шаръ, гдѣ собственно и сгораетъ съ газомъ. Продукты горѣнія уносятся кольцеобразнымъ пространствомъ внѣшней трубы въ аспираторный или вытяжной каналъ. Стрѣлки, изображенныя на чертежѣ, указываютъ направленіе теченія воздуха и газовъ. Проволочная ткань во внѣшнемъ круговомъ пространствѣ нагрѣвается такимъ образомъ при удаленіи продуктовъ горѣнія изъ стеклянаго шара, въ особенности же она нагрѣвается въ верхней своей части. Теплота, поглощенная здѣсь, проводимостью и лучеиспусканіемъ отдается воздушному регенератору во второмъ кольцеобразномъ пространствѣ посредствомъ боковыхъ стѣнокъ; она же отчасти передается и центральной газопроводной трубкѣ. Воздухъ и газъ предварительно поэтому нагрѣваются, относительно увеличивается и температура пламени; большая температура пламени вызываетъ болѣе высокую температуру предварительнаго нагрѣванія и т. д.; такъ что температура пламени получается наконецъ огонь высокая сравнительно съ температурой обыкновеннаго пламени, а этимъ и достигается большая сила свѣченія.

Фиг. 674 и 676 представляютъ двѣ горѣлки Сименса новѣйшей конструкціи. Устройство и дѣйствіе ихъ слѣдующее: холодный газъ проходитъ по камерѣ A и трубкамъ B до мѣста сгоранія C. Холодный воздухъ вступаетъ въ воздушную камеру D и, раньше достиженія пламени, посредствомъ кольца съ выступающими зубцами раздѣляется на много тоненькихъ струекъ, такъ что къ пламени онъ притекаетъ равномѣрно со всѣхъ сторонъ. Пламя горитъ вокругъ фарфоровой трубки H, огибаетъ верхній край ея и направляется во внутрь горѣлки, откуда оно выходитъ въ регенеративную камеру. Это дѣйствіе достигается постояннымъ воздушнымъ токомъ, дѣйствіемъ вытяжной трубки H и боковой F. Нижній конецъ вытяжной трубы виденъ на фиг. 146 у G. Такимъ образомъ потерянная теплота уносящихся сгорѣвшихъ газовъ собирается въ камерѣ E, гдѣ температура поднимается до 450° С. Слѣдствіемъ этого является то, что воздухъ и газъ предварительно нагрѣваются въ пространствѣ окружающемъ камеру (здѣсь нагрѣвается собственно только воздухъ) на пути слѣдованія ихъ къ горѣлкѣ. Снаружи горѣлка окружена рубашкой, между которой и самой горѣлкой входитъ холодный токъ воздуха, имѣющій цѣлью предохранять горѣлку отъ перегрѣванія, а также доставлять ей еще больше воздуха. На верхнемъ краѣ внѣшняго корпуса покоится стекляный цилиндръ K, защищающій пламя отъ наружнаго колебанія воздуха: онъ играетъ роль обыкновеннаго стекляннаго цилиндра. Фигур. 674 — 676 представляютъ детали полной лампы, изображенной на фигурѣ 677. Дѣйствіе этихъ горѣлокъ зависитъ отъ температуры, до которой на пути своемъ до

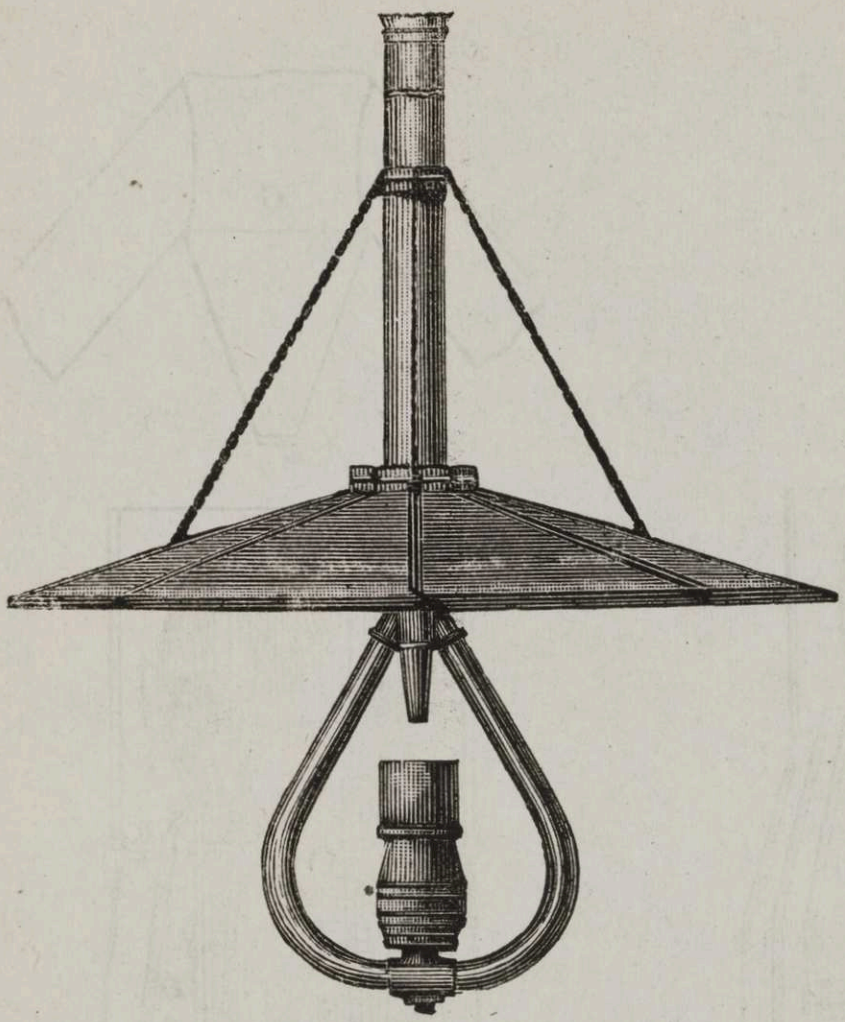


Фиг. 674.



Фиг. 675 и 676.

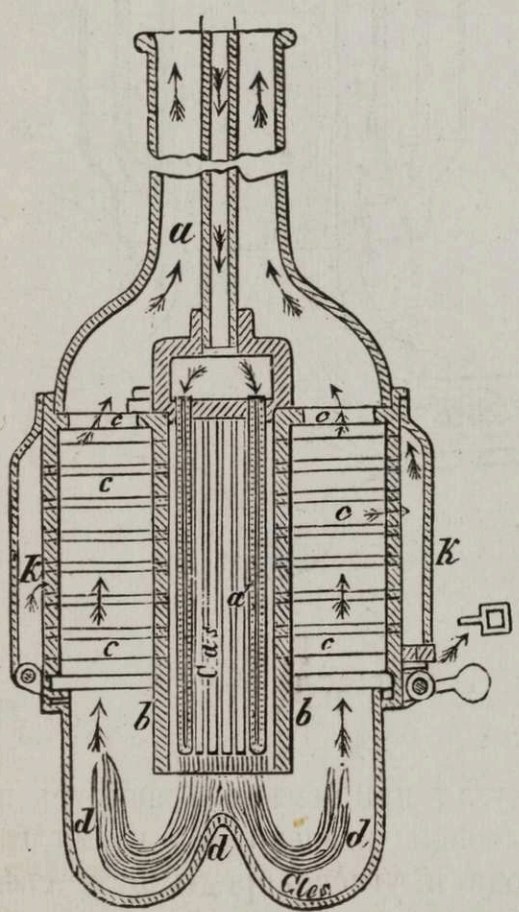
мѣста сгоранія поднимается газъ и воздухъ, при чемъ она вокругъ пламени поддерживается до интенсивно высокой степени. Во время горѣнія образуются водородъ, окись углерода и углеводороды безъ свѣтообразованія. Углеводороды отдаютъ однако при высокой температурѣ часть своего угля, который нагрѣвается до бѣлаго каленія и дѣлаетъ



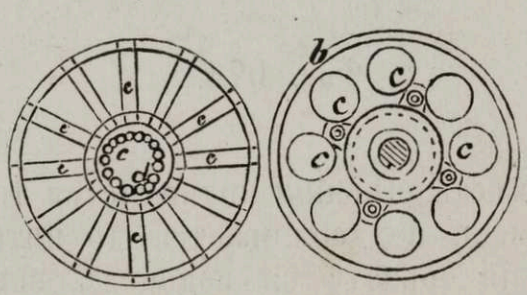
Фиг. 677.

пламя свѣтящимся. Съ повышеніемъ температуры яркость пламени возрастаетъ до извѣстнаго предѣла, который лежитъ около 1400° С.

Регенеративная горѣлка Гримстона, фиг. 678—680, сходна въ принципѣ съ горѣлкой Сименса, однако существенно отличается отъ нея тѣмъ, что газъ и воздухъ текутъ въ ней не вверхъ, а внизъ, почему тѣло горѣлки лежитъ не ниже, а выше пламени. Преимущество тутъ въ томъ, что тѣнь отъ корпуса горѣлки падаетъ не внизъ, а вверхъ, и потому часть дѣйствующаго круга свѣта не отѣняется мѣстами. Газопроводная трубка *a* соединена съ раздѣлительной камерой, изъ которой выступаетъ пучекъ тонкихъ мѣдныхъ трубокъ *a'*, образующихъ горѣлку. Газовыя струйки вытекаютъ изъ этихъ трубокъ и образуютъ пламя, которое дугообразно искривляется кнаружи. Поднимающіеся продукты



Фиг. 678.



Фиг. 679 и 680.

горѣнія отдаютъ часть своей теплоты на предварительное нагрѣваніе газа и воздуха; они удаляются между частями *b* и *k*.; воздухъ входитъ по трубкамъ *e*, которыя сильно нагрѣваются продуктами горѣнія, сильно нагрѣвается самъ и вступаетъ затѣмъ въ среднее пространство, гдѣ находятся сжигательныя трубочки. Воздухъ направляется дальше внизъ и отдаетъ часть своей теплоты газу. Горѣлка зажигается послѣ открытія стекляной крышки *d*, вращающейся на шарнирѣ и закрывающейся послѣ зажиганія герметически, такъ что весь воздухъ, поддерживающій горѣніе долженъ притекать сверху по указанному пути. Полную силу свѣченія лампа получаетъ черезъ нѣсколько минутъ, въ теченіе которыхъ токъ воздуха нагрѣвается до 500—600° С. Регенеративныя горѣлки Сименса особенно примѣнимы для сильнаго освѣщенія, какъ показываетъ слѣдующая таблица:

Горѣлки.	Расходъ въ часъ въ литрахъ.	Сила свѣта въ Карселяхъ.
№ 1	1600	46—48
„ 2	700	20—22
„ 3	600	13—15
„ 4	300	5—7

При сравненіи расхода газа и силы свѣта регенеративныхъ горѣлокъ съ другими употребительными горѣлками, получимъ слѣдующ.:

Регенеративныя горѣлки.	Сила свѣта въ		Расходъ газа въ часъ при одинаковой силѣ свѣта.		
	Нормальныя свѣчи.	Нормал. Аргандовы горѣлки въ 150 л. въ часъ и хорошія горѣлки съ узкимъ отверст. на 200 литр. въ часъ.	Регенеративная горѣлка.	Хорошая горѣлка съ узкимъ отверстіемъ.	Нормальная Аргандова горѣлка.
IVa	50	3,33	336	667	500
III	75	5,00	490	1000	750
II	130	8,67	775	1733	1300
I	315	21,00	1700	4200	3150
00	488	32,53	2580	6507	4880
000	880	58,67	4470	11733	8800
Плоскія горѣлки	49 спереди	3,13			
	27 сбоку	1,8	212	650	490

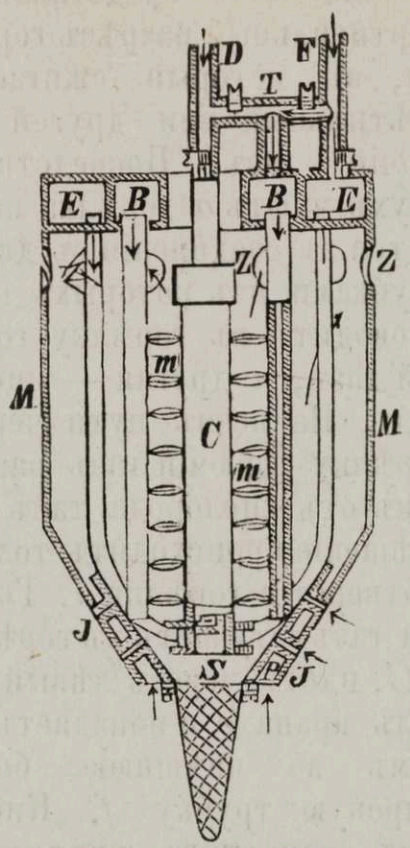
Другія горѣлки съ подогрѣваніемъ воздуха и съ пламенемъ, обращеннымъ внизъ, конструированы: Венхамъ, Вестфаль, Буцке, Сименсъ, Сеегрюнъ и др.

205. Устройство и принципъ газовыхъ лампъ съ накаливаніемъ. Газовыя лампы съ накаливаніемъ основываются на извлеченіи свѣта изъ твердыхъ тѣлъ, находящихся въ состояніи бѣлаго каленія, для чего

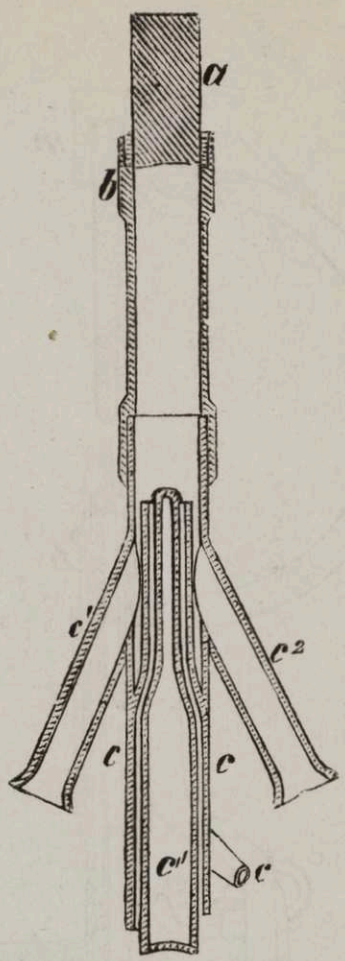
употребляютъ известь, цирконій, магній, платину или другое какое либо огнеупорное тѣло.

а) Фиг. 681 представляетъ Кламондову газовую лампу съ накаливаніемъ, въ которую воздухъ доставляется подъ давленіемъ, а накаливаемое тѣло состоитъ изъ сплетенія магнезіальныхъ фителей. Воздухъ, доставляемый подъ давленіемъ около 33 мм. водяного столба, нагрѣвается предварительно, какъ и въ регенеративныхъ горѣлкахъ, что достигается частью расположеніемъ проводной трубки въ горячемъ токѣ продуктовъ горѣнія, частью же дѣйствіемъ особыхъ газовыхъ огоньковъ, которому эта трубка подвергается. Сжатый воздухъ доставляется воздушнымъ насосомъ въ камеру D, течетъ по трубкѣ C внизъ къ горѣлкѣ L и при этомъ нагрѣвается на своемъ пути. Часть его отвѣтвляется однако и по трубкѣ G идетъ внизъ въ камеру B. Газъ доставляется трубкой F и входитъ въ камеру E въ опредѣленномъ количествѣ. Изъ F четыре вертикальныя трубки проводятъ большую часть газа въ кольцо S, которое образуетъ горѣлку. Другая меньшая часть газа идетъ изъ приводной трубы въ камеру B, которая наполняется такимъ образомъ газомъ и воздухомъ. Эта смѣсь, вытекающая изъ отверстій горѣлокъ mm уже воспламенившись, служитъ для нагрѣванія воздухоприводной трубки C. Весь аппаратъ окружается корпусомъ M, который дѣйствуетъ какъ вытяжная труба. На верху корпусъ снабженъ боковыми отверстіями, изъ которыхъ удаляются продукты горѣнія. У основанія корпусъ оканчивается двумя концентрическими усѣченными конусами, которые прорѣзаны поперечными трубами I и соединены другъ съ другомъ. Къ отверстію внутренняго усѣченнаго конуса привѣшенъ платиновый сѣтчатый чахолъ для магнезіальной корзинки. Въ эту корзинку входитъ пламя горѣлки, доводитъ ее до бѣлаго каленія и вызываетъ свѣтъ. Продукты горѣнія поднимаются въ кольцеобразное пространство P, а въ это время воздухъ притекаетъ по поперечнымъ трубкамъ J, нагрѣвается здѣсь и идетъ затѣмъ для сжиганія газовыхъ струекъ m. Полученіе магнезіальныхъ нитей, изъ которыхъ состоитъ упомянутая корзинка, слѣдующее: приготовляютъ тѣстообразную массу изъ кальцинированной и уксуснокислой магнезіи, потомъ пропускаютъ ее (подобно макаронному производству) между валомъ и соотвѣтственнымъ рыльцемъ, послѣ этого она получается въ видѣ болѣе или менѣе тонкой нити. Нить, въ формѣ корзины, наматывается на шпенекъ и корзинка высушивается для удаленія уксусной кислоты. На фиг. видна не сама корзинка, но заключающій ее платиновый чахолъ. Каждая такая корзинка для накаливанія служитъ 40 часовъ, послѣ этого она должна быть замѣнена другой, иначе сила свѣченія уменьшается. Получается такимъ образомъ очень пріятный свѣтъ, который имѣетъ полный теплый тонъ. Эти Кламондовы лампы съ накаливаніемъ дѣйствуютъ вообще очень хорошо, онѣ расходуютъ для силы свѣта въ 160 свѣч.—около 0,5 куб. метра газа, для—450 свѣчей—1,2 куб. метра. Необходимо при этомъ присоединить газомоторъ для дѣйствія воздушнаго насоса, и расходъ газа для него не включенъ въ разсчетъ. Для лампы съ силой свѣта въ 50 свѣчей достаточна машина на половину паровой лошади.

b) **Горѣлка съ накаливаніемъ Леви**, фиг. 682, извлекаетъ свѣтъ сгораніемъ газа въ безцвѣтное пламя и прикосновеніемъ послѣдняго съ тканью



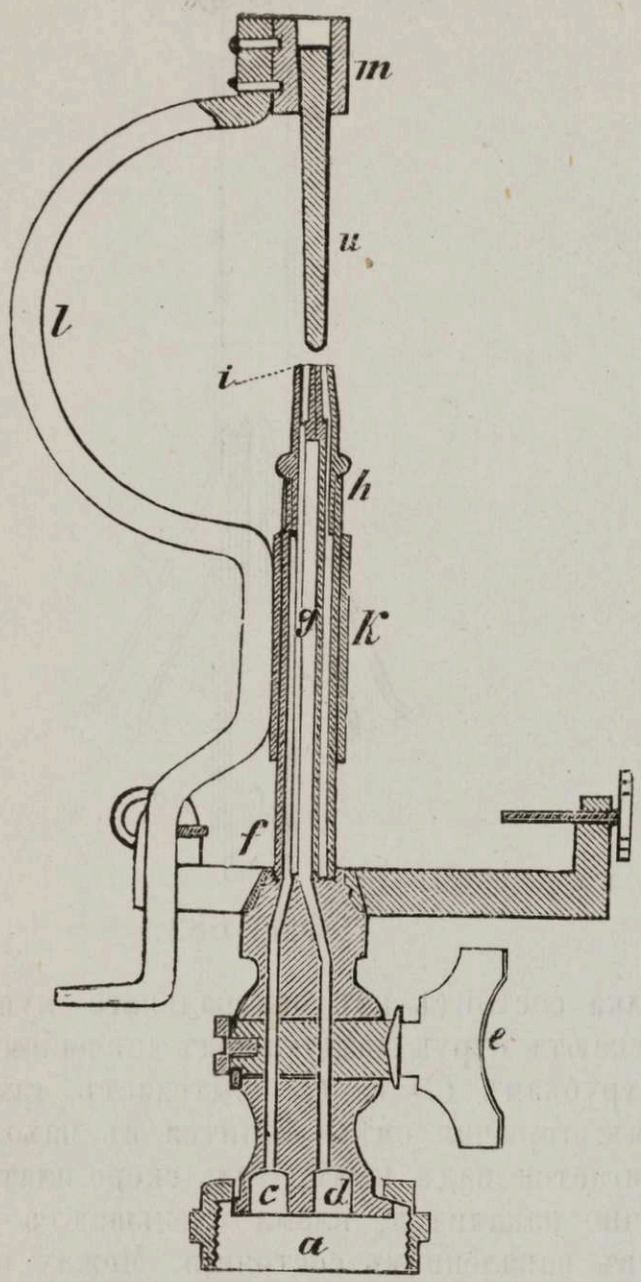
Фиг. 681.



Фиг. 682.

изъ платиновой проволоки. Горѣлка состоитъ изъ центральнаго мундштука C^1, черезъ который пропускаютъ струю воздуха подъ давленіемъ. Около этой струи, по боковымъ трубкамъ C^1 и C^2 вытекаетъ газъ, который смѣшивается съ воздухомъ: горючая смѣсь гонится въ чахолъ изъ платиновой проволоки и зажигается надъ нимъ. Коль скоро платиновая проволочная сѣтка достаточно накалится, пламя уменьшаютъ до исчезновенія и металлъ остается въ накаленномъ состояніи. Между накаленнымъ платиновымъ чахломъ и тѣломъ горѣлки вложено кольцо b изъ непроводящаго металла, которое препятствуетъ теплотѣ распространиться на нижнюю часть горѣлки.

c) **Лампа Котинскаго съ известковой свѣчей** (фиг. 683) основывается на добываніи свѣта посредствомъ накаливанія твердаго тѣла въ пламени горючихъ жидкостей или газовъ; напримѣръ жидкаго, пульверизированнаго или газообразнаго углеводорода, причемъ пламя раздувается струей кислорода. Вмѣсто извести или кальція можетъ быть употреблено и всякое другое твердое тѣло, какъ напр. барій, стронцій, магній, аллюминій, цирконій и другіе подобные металлы. При этомъ огнеупорная масса можетъ быть употреблена или въ формѣ кусковъ или въ порошкообразномъ видѣ. Пламя можетъ быть или простымъ, т. е. состоять изъ одной восходящей струйки вытекающей изъ круглаго отверстія или можетъ образоваться изъ многихъ струекъ. Сообразно виду пламени, огнеупорная масса можетъ получить цилиндрическую, коническую, пирамидальную или призматическую форму. Огнеупорная масса вносится всегда по направленію оси пламени и струи кислорода, такъ что она окружена пламенемъ со всѣхъ сторонъ.

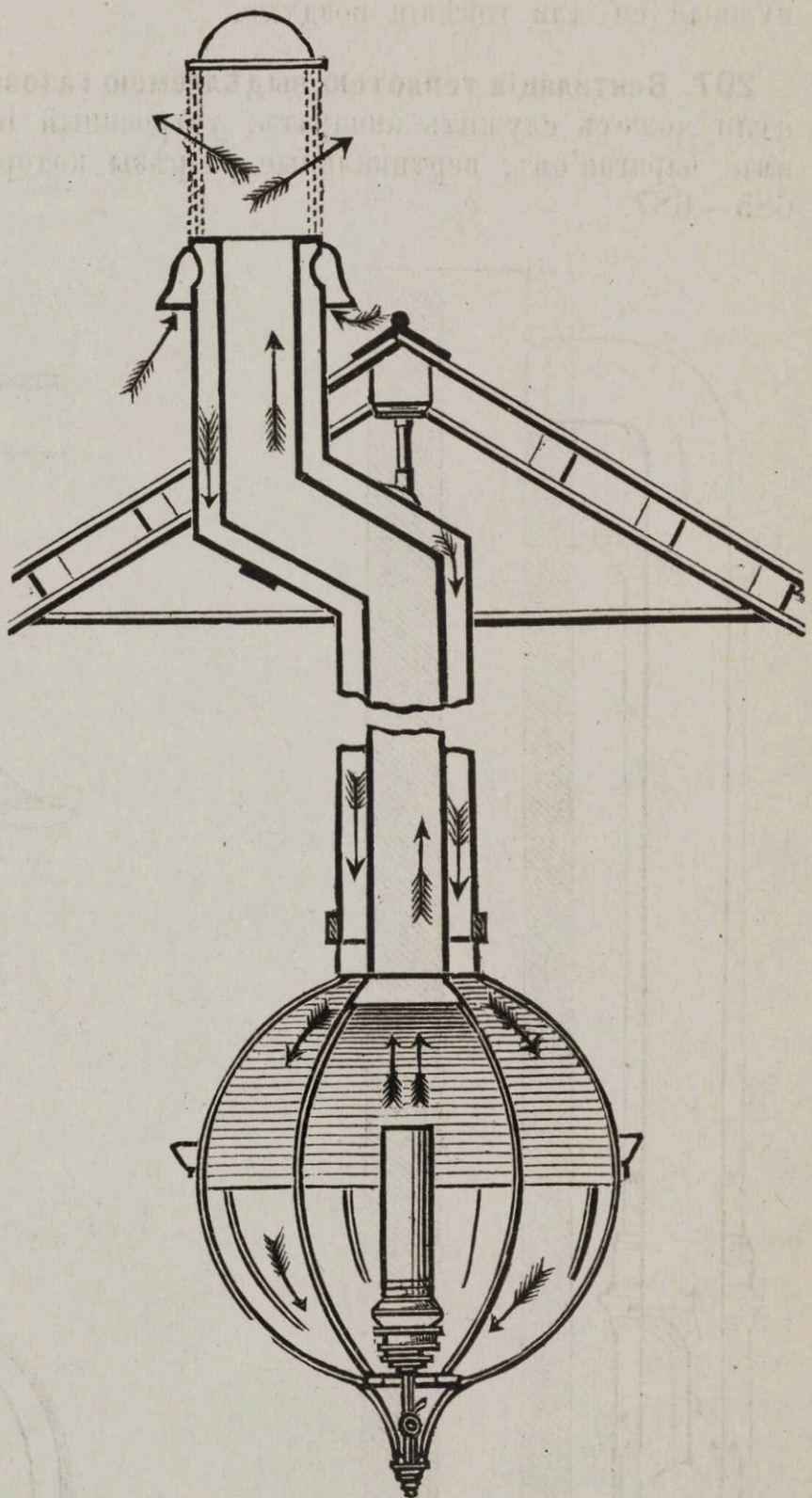


Фиг. 683.

Фиг. 683 представляетъ вертикальный разрѣзъ горѣлки, въ который сжигается свѣтильный или другой горючій газъ. Посредствомъ двухъ муфтъ *a* горѣлка находится въ соединеніи съ двумя трубками, изъ которыхъ одна проводитъ въ горѣлку горючій газъ, а другая — кислородъ. На всемъ пути черезъ горѣлку горючій газъ раздѣленъ отъ кислорода, такъ что смѣшеніе происходитъ только у отверстія горѣлки *i*. Горючій газъ вступаетъ въ горѣлку у *C*, идетъ черезъ лѣвый каналъ крана *e* и попадаетъ затѣмъ во внѣшнюю болѣе широкую трубку *f*. Кислородъ, напротивъ, притекаетъ у *d*, идетъ по правому каналу крана *e* и входитъ во внутреннюю болѣе узкую трубку *g*. Трубка *f* оканчивается мундштукомъ *h*. По снятію этого мундштука, можетъ быть снятъ мундштукъ *i* трубки *g*; это дѣлается смотря по обстоятельствамъ, или съ цѣлью прочищенія или же для навинчиванія другаго мундштука. Трубка *f* обхватывается муфтой *k*, къ которой прикрѣпляется одинъ конецъ дуги *l*. На другомъ концѣ ея находится держалка *m* для огнеупорной массы. Для регулированія разстоянія между огнеупорной массой *u* и остріемъ *i* можно передвигать муфту *k* вмѣстѣ съ дугой вдоль по трубкѣ *f*. По открытію крана *e* образуется у отверстія горѣлки *a* смѣсь изъ горючаго газа и кислорода, которую и зажигаютъ. Этимъ путемъ получаютъ безцвѣтное пламя очень высокой температуры, въ которое погружается огнеупорная масса; послѣдняя накаливается и распространяетъ равномѣрный интенсивный свѣтъ. Если діаметръ выходного отверстія для кислорода около 38 мм., то горѣлка расходуетъ въ каждый часъ около 14, 21 кислорода и почти столько свѣтильнаго газа, при чемъ сила свѣченія составляетъ 20—25 нормальныхъ свѣчей. Винты *s* служатъ для укрѣпленія окружающаго горѣлку шара.

206. Употребленіе газа для вентиляціи и освѣщенія. Неудобства газоваго освѣщенія, на которыя часто жалуются—порчу воздуха и непріятную

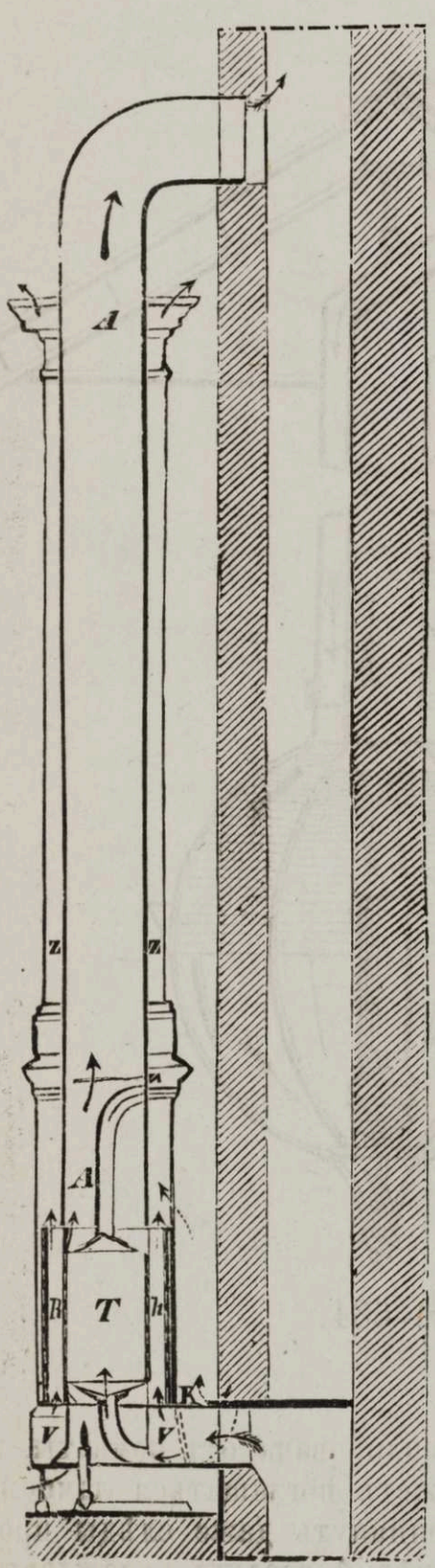
теплоту, устраняются посредствомъ устройства лампы, представленнаго на фиг. 684, почему лампы эти очень удобны для общественныхъ залъ, ресторановъ и т. д. Какъ видно на рисункѣ, газовая горѣлка окружена стекляннымъ шаромъ, нижняя часть котораго состоитъ изъ прозрачнаго, а верхняя изъ молочнаго стекла. Эта горѣлка есть собственно улучшенная Зуномъ Аргандова горѣлка, дающая силу свѣта 100 — 200 свѣчей. Лампа снабжена двойной, смотря по надобности, изогнутой или прямой трубой, которая выходитъ черезъ крышу наружу и оканчивается небольшой вытяжной трубой. Черезъ внутреннюю трубу выходятъ продукты горѣнія, такъ что они не могутъ портить воздухъ освѣщаемаго пространства; по внѣшней трубѣ притекаетъ извнѣ помѣщенія свѣжій воздухъ. Направленія теченій газа и воздуха указаны стрѣлками. Лампа снабжена парой изогнутыхъ пластинъ, которыя направляютъ воздухъ къ нижнему концу горѣлки, затѣмъ горѣлка у основанія закрыта и весь воздухъ, нужный ей для горѣнія, она получаетъ по каналу извнѣ, такъ что она постоянно изолирована отъ комнаты, и какъ углекислота комнатнаго воздуха не можетъ поглащаться лампой, такъ и въ комнатный воздухъ не могутъ проникнуть даже слѣды продуктовъ горѣнія. Кромѣ того, притекающій свѣжій воздухъ охлаждаетъ лампу и потому, даже при сильномъ пламени, температура комнатнаго



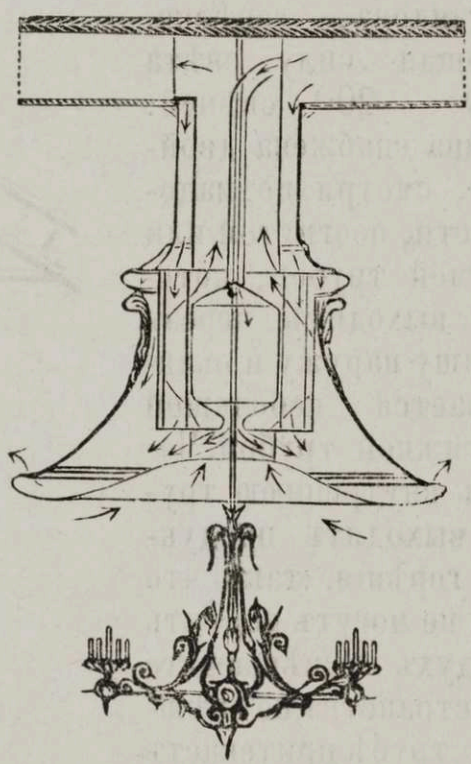
Фиг. 684.

воздуха не можетъ замѣтно повыситься. Эту лампу можно однако устроить и такъ, чтобы она одновременно служила также и для вентиляціи комнатъ; для этого нужно устроить снизу лампы отверстіе, черезъ которое, вмѣсто наружнаго, она будетъ вытягивать извнутри комнаты нужный ей для горѣнія воздухъ.

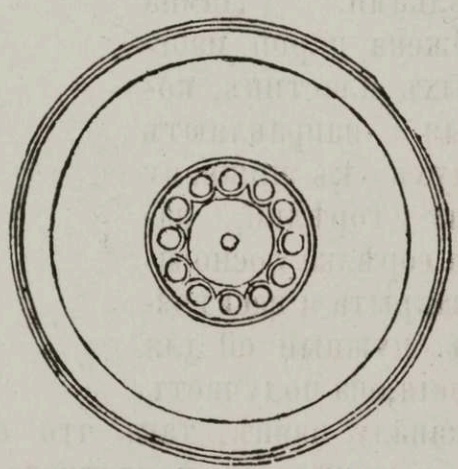
207. Вентиляція теплотою, выдѣляемою газовымъ пламенемъ. Для этой цѣли можетъ служить аппаратъ, устроенный Кейффероmъ и названный имъ парагон'омъ, вертикальные разрѣзы котораго представляютъ фиг. 685—687.



Фиг. 685.

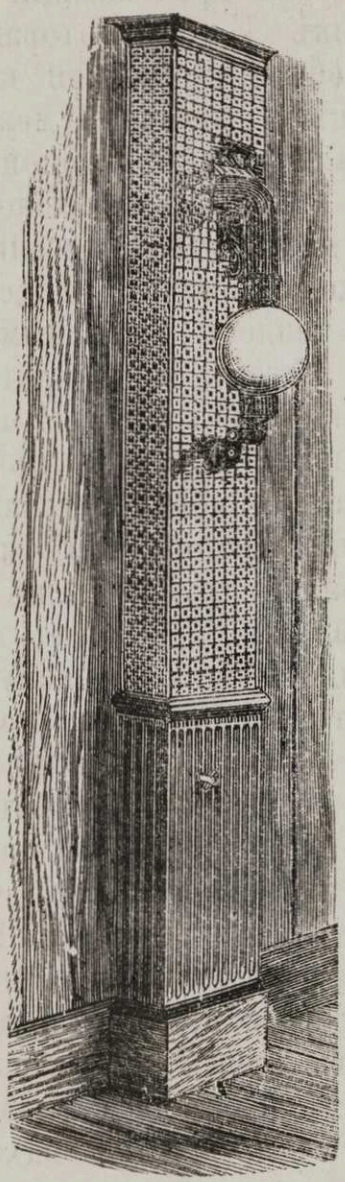


Фиг. 686.

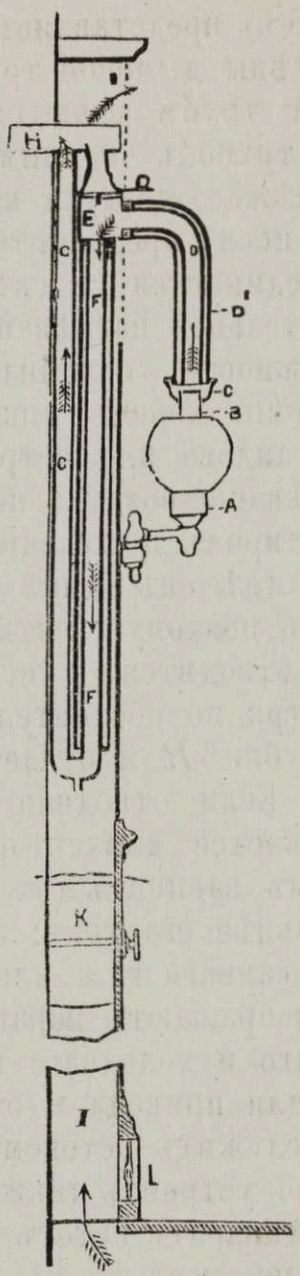


Фиг. 687.

Фиг. 685 представляетъ этотъ аппаратъ въ формѣ печи, установленной у стѣны дымовой трубы. Свѣжій воздухъ, притекающій извнѣ по жестяной трубѣ входитъ въ нижній ящикъ *V*, изъ котораго онъ по системѣ трубокъ поднимается вверхъ въ общій приводной каналъ *Z*. Часть свѣжаго воздуха входитъ въ барабанъ *G*, лежащій между трубками и, послѣ предварительнаго нагрѣванія до болѣе высокой температуры, соединяется съ свѣжимъ воздухомъ. Чтобы и въ холодные дни предварительное нагрѣваніе доводилось до достаточной степени и чтобы по возможности увеличить притокъ у выхода воздуха, подставляютъ подъ нижній конецъ аппарата источникъ теплоты, которымъ можетъ быть Аргандова или петролейная горѣлка. Лѣтомъ, когда предварительное нагрѣваніе воздуха не желательно, приводятъ клапанъ *k* въ указанное пунктиромъ положеніе, тогда воздухъ прямо входитъ въ широкую рубашку, гдѣ онъ одинъ поглащаетъ теплоту, становится теплѣе и увеличиваетъ поэтому вентилирующее дѣйствіе. Испорченный комнатный воздухъ отводится у основанія по внутренней трубкѣ *A* въ дымовую или, смотря по обстоятельствамъ, прямо наружу, при этомъ онъ обтекаетъ трубки *R* и отдаетъ часть своей теплоты притекающему свѣжему воздуху. Если отводная труба *A* выводится прямо надъ крышей, то она снабжается дефлекторомъ. Количество воздуха, выводимое этимъ аппаратомъ зависитъ отъ высоты трубы и, естественно, тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе его токъ; затѣмъ мѣриломъ будетъ служить количество израсходованнаго газа или петролеума для питанія пламени. Фиг. 686 и 687 изображаютъ парагонный аппаратъ въ формѣ люстры. Направленія теплаго и холоднаго воздуха указаны стрѣлками. Жестяный каналъ нужный для привода и отвода воздуха, здѣсь не стѣснителенъ, потому что онъ служитъ остовомъ и можетъ быть прилично замаскированъ. Его можно устроить также и надъ потолкомъ и онъ совсѣмъ не будетъ видимъ. Аппаратъ этотъ легко пристроить къ каждой находящейся подъ рукой люстрѣ. Во время дѣйствія онъ не требуетъ издержекъ, такъ какъ вентиляцію производятъ огни, нужные для освѣщенія. Смотря по величинѣ аппарата и высотѣ выводной трубы можетъ быть доставлено въ каждый при люстрѣ въ 12 огней около 750 куб. мет. свѣжаго воздуха. Подобный аппаратъ, одновременно служащій для освѣщенія, нагрѣванія и вентиляціи, представляетъ **гигіеническая печь** (sanitary stove) В. Шенгейдера въ Лондонѣ; внѣшній видъ ея представленъ на фиг. 688, а вертикальный разрѣзъ на фиг. 689. *A*—горѣлка укрѣпленная во вращающейся ручкѣ и окруженная проволочнымъ флеромъ для предохраненія ея отъ зажиганія снизу. *B*—стекляный цилиндръ, *C*—имѣющаяся поверхъ цилиндра подвижная капсуля, которая должна быть поднята, когда желаютъ отвести ручку въ сторону для зажиганія лампы. *D* отводная трубка для продуктовъ горѣнія, окруженная трубкой D^1; кольцеобразное воздушное пространство между ними предохраняетъ комнатный воздухъ отъ порчи его слишкомъ сильно нагрѣтымъ металломъ внутренней трубки. У *E* имѣется задвижка или клапанъ, который мѣшаетъ непосредственному удаленію продуктовъ горѣнія по трубѣ *H*, заставляетъ ихъ спускаться внизъ, опять подняться вверхъ по трубѣ *G* дальше въ *H*, а оттуда въ выводную трубу. На этомъ пути сгорѣвшіе газы отдаютъ большую часть своей теплоты свѣжему воздуху, который притекаетъ снизу, поднимается по трубѣ *I* и который вытекаетъ за-



Фиг. 688.



Фиг. 689.

тѣмъ въ комнату изъ верхней части аппарата. Трубка *F* окружена также предохранительной трубкой, чтобы притекающій свѣжій воздухъ не слишкомъ сильно нагрѣвался. Напротивъ трубка *G* предохранительной трубки не имѣетъ, потому что сгорѣвшіе газы, поднимающіеся по ней, уже настолько охлаждены, что перегрѣваніе притекающаго воздуха невозможно. Посредствомъ трубчатаго отростка, находящагося въ нижней части трубъ *F* и *G* отводится влага, сгустившаяся внутри трубъ. Свѣжій воздухъ доставляется съ наружной стороны зданія по надлежащимъ каналамъ, поднимается, какъ было уже замѣчено, по вертикальному четырехугольному каналу *I*, нагрѣвается во время теченія по трубкамъ *F* и *G* входитъ въ комнату черезъ устроенное въ каналѣ *H* отверстіе. Нужно позаботиться объ отводѣ испорченнаго воздуха по отверстіямъ, устроеннымъ надлежащимъ образомъ въ нижней части комнатной стѣны.

Эта вентиляціонная печь въ настоящую холодную погоду не будетъ, понятно, достаточна для отопленія комнаты, но въ умѣренную погоду

она достаточна; при всѣхъ же обстоятельствахъ она будетъ служить для вентиляціи, причемъ теплота сгорѣвшихъ газовъ въ случаѣ надобности, можетъ быть съ пользой употреблена для отопленія комнаты. Если не желаютъ, какъ это бываетъ лѣтомъ, предварительно нагрѣвать притекающій воздухъ, то отворяютъ находящійся у *E* клапанъ, и газы послѣ этого поднимаются въ трубу кратчайшимъ путемъ. Если не желательна вентиляція, а только простая циркуляція комнатнаго воздуха по каналу *I*, то нужно открыть нижній воздухоприводный каналъ и поднять задвижку *L*. Изъ колоннообразныхъ аппаратовъ этого рода вентиляціонная печь отличается своей цѣлесообразностью, малымъ объемомъ и красивой формой.

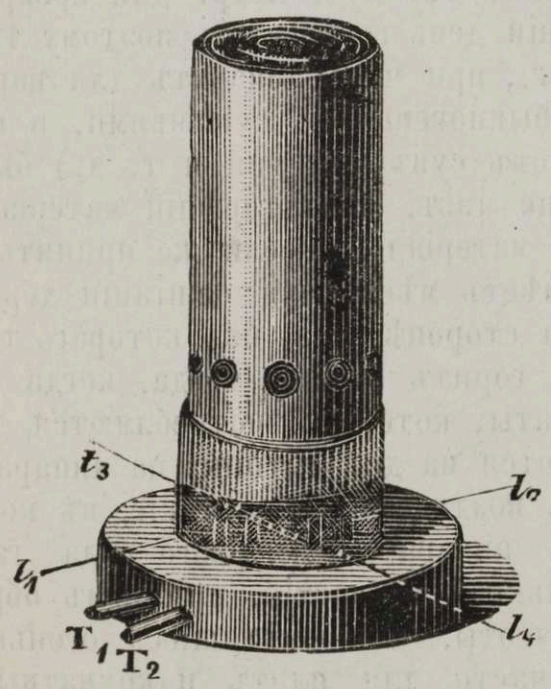
При нагрѣваніи комнатъ посредствомъ газовыхъ печей считается 0,3 до 0,5 куб. м. газа на 100 куб. м. пространства.

208. Употребленіе газа въ видѣ горючаго матеріала для кухни. Съ какой пользой и какимъ образомъ можно употреблять газъ, какъ горючій матеріалъ для кухни? Противъ твердыхъ горючихъ матеріаловъ газъ имѣетъ то преимущество, что изъ него экономичнѣе извлекается теплота. По опытамъ Блохмана и другихъ газотехниковъ, свѣтильный газъ даетъ тепловой эффектъ на каждый кубическій метръ около 3000 калорій, при условіи употребленія надлежащихъ аппаратовъ, а потому для цѣлей кухни при хозяйствѣ въ 6 персонъ, достаточенъ приблизительно одинъ куб. метръ газа въ день. По опытамъ профессора Вагнера 19,5 грамма керосина даютъ тотъ же полезный тепловой эффектъ какъ 30,75 литра свѣтильнаго газа, такъ что свѣтильный газъ, какъ горючій матеріалъ, для кухни никоимъ образомъ не дороже керосина, при чемъ онъ еще имѣетъ преимущество въ большомъ удобствѣ, безопасности и чистотѣ. По относительнымъ опытамъ въ свое время произведеннымъ на Кведлинбургскомъ газовомъ заводѣ, расходъ газа для кухни въ хозяйствѣ обыкновеннаго городскаго жителя изъ 6 персонъ составляетъ въ годъ среднимъ числомъ 450 куб. метр. стоимостью 77 марокъ 12 пфенинг. при цѣнѣ 17 пфен. за кубич. метръ. Средній ежедневный расходъ для будничныхъ дней составлялъ 1,1 куб. метр. для воскресныхъ 2,2 куб. метра. На общій средній день требовалось поэтому 1,26 куб. метра стоимостью 21,4 пфенинг., при чемъ аппаратъ для варки снабжалъ 6 нормальныхъ ѣдоковъ обыкновенными кушаньями, и всѣ прочія операціи (утромъ кофе, вечеромъ супъ или чай и т. д.) были выполнены посредствомъ газа. Вообще газъ, какъ горючій матеріалъ, обходится дороже твердыхъ горючихъ матеріаловъ, если же принять во вниманіе скрытіе теплоты, которое имѣетъ мѣсто при сжиганіи дерева и угля, то преимущество окажется на сторонѣ газа, изъ котораго теплота лучше извлекается и который горитъ только тогда, когда въ пламени его есть надобность. Аппараты, которые употребляются для топки свѣтильнымъ газомъ, раздѣляются на двѣ группы: на аппараты въ которыхъ газъ не смѣшивается съ воздухомъ, и на такіе, въ которыхъ это смѣшеніе происходитъ. Въ аппаратахъ перваго рода газъ вытекаетъ изъ большаго числа маленькихъ отверстій, при чемъ образуются малые, около 1 сантиметра высоты, слабосвѣтящіеся огоньки. Эти аппараты употребляются очень часто для плитъ и комнатныхъ печей. Въ аппаратахъ втораго рода газъ смѣшивается съ 225 частями по объему воздуха для уменьшенія силы свѣченія пламени и увеличенія

за то температуры; иногда также вдувается въ газъ еще больше воздуха; кромѣ того къ пламени долженъ доставляться воздухъ для полнаго сгоранія газа и должно быть произведено внутреннее перемѣшиваніе газа съ воздухомъ.

Для горѣнія 1 объема свѣтительнаго газа необходимы 6 объемовъ воздуха, при чемъ газъ горитъ небольшимъ прозрачнымъ пламенемъ. Пламя должно встрѣчать дно варочнаго сосуда по возможности въ срединѣ. Отличныя горѣлки суть: кухонная горѣлка Вобба и Бунзеновская горѣлка.

209. Устройство горѣлокъ, употребляющихся для цѣлей топленія. Основной типъ горѣлокъ, предназначенныхъ для топленія, это горѣлка Бунзена; въ простѣйшей своей формѣ она состоитъ изъ чугунной подставки, діаметромъ около 7 сантиметровъ, на которую насажено цилиндрическое или призматическое металлическое тѣло, высотою около 25, а шириной около 16 милиметръ, это металлическое тѣло имѣетъ внутри пустоту 12 милим. глубины и 10 милим. ширины и, на разстояніи около 4 милим. отъ верхняго края съ каждой стороны, соединенныя съ нею отверстія 8 мм. въ діаметрѣ. Съ одной стороны подъ упомянутымъ отверстіемъ придѣлывается трубчатый отростокъ, на который надѣвается газоприводная кишка. Вступающій газъ вытекаетъ изъ трубки, находящейся въ серединѣ пустоты; трубка имѣетъ на верху ширину около 7 мм. и выдается надъ краемъ металлическаго тѣла на 3 мм. Она оканчивается на верху основаніемъ, имѣющимъ три радіальныя щели; длина щели 1 мм.; ширина $^1/_3$ мм.; щели соединены между собою. Верхнее основаніе металлическаго тѣла оканчивается гайкой, въ которую ввинчивается латунная трубка 95 мм. длины и 9 мм. ширины. Газъ, вытекающій изъ щелей, смѣшивается съ воздухомъ, выходящимъ изъ отверстій, и сгораетъ синеватымъ пламенемъ безъ копоти. Для достиженія большей нагрѣвательной способности, соединяютъ нѣсколько горѣлокъ вмѣстѣ. Фиг. 690 представляетъ измѣненную Бунзенскую горѣлку по конструкціи Годефрой'я; она состоитъ изъ четырехъ концентрическихъ цилиндровъ изъ листоваго желѣза (жести), изъ которыхъ первый и третій продырявлены у основанія. Промежуточныя пространства цилиндровъ соединяются съ одной стороны съ трубками t' и t^2, оканчивающимся во внѣшней газовой трубѣ P', а съ другой—съ трубками t_3 и t_4, которыя соединяются въ одну трубку P^2. На днѣ аппарата имѣется проволочная ткань, посредствомъ которой регулируется притокъ воздуха и которая должна предохранять пламя отъ пыланія. Для нагрѣванія большихъ поверхностей Бунзенская горѣлка снабжается



Фиг. 690.

въ верхней части ситечкомъ, изъ отверстій котораго выходитъ много маленькихъ огоньковъ. Въ серединѣ ситечка имѣется дыра, соотвѣтствующая ширинѣ трубки и закрывающаяся клапаномъ, когда желаютъ пользоваться только маленькими огоньками. Если желаютъ употреблять пламя обыкновенной Бунзенской горѣлки, то клапанъ открываютъ.

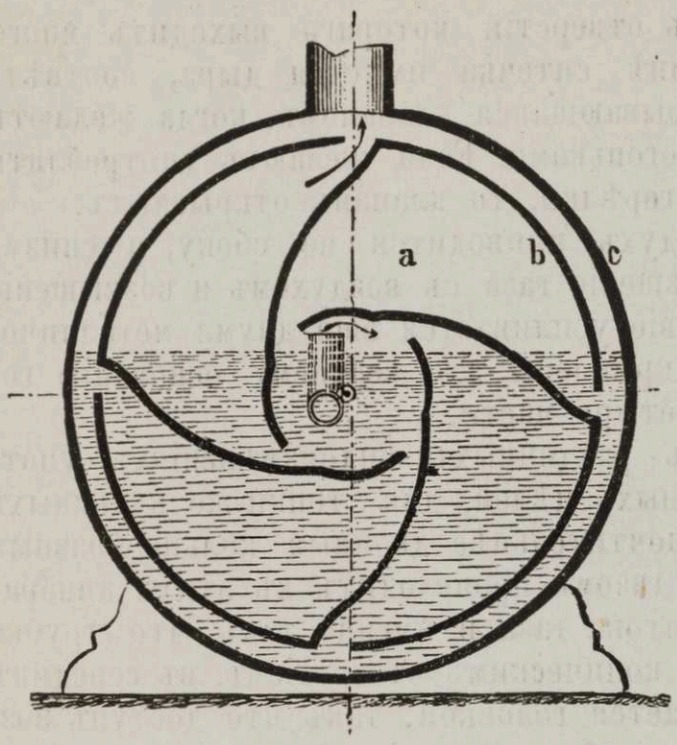
Въ Туркевельской горѣлкѣ воздухъ приводится не сбоку, а снизу, чѣмъ достигается внутреннее смѣшеніе газа съ воздухомъ и возвышеніе температуры пламени. Это дѣйствіе усиливается еще двумя металлическими пластинками, которыя прикрѣплены къ верхнему основанію горѣлки и раздѣляютъ пламя на четыре части.

Бунзенскія горѣлки въ своихъ различныхъ видоизмѣненіяхъ употребляются только для лабораторныхъ цѣлей, для топки-же кухонныхъ плитъ и комнатныхъ печей предпочтительнѣе двойныя кольцеобразныя горѣлки. Смѣшиваніе воздуха съ газомъ происходитъ въ этихъ аппаратахъ большею частью вблизи притока газа и именно такъ, что трубка горѣлки снабжена расширеннымъ коническимъ отверстіемъ, въ серединѣ котораго газовая трубка оканчивается головкой, такъ что доступъ воздуха къ ней происходитъ по кольцеобразному отверстію.

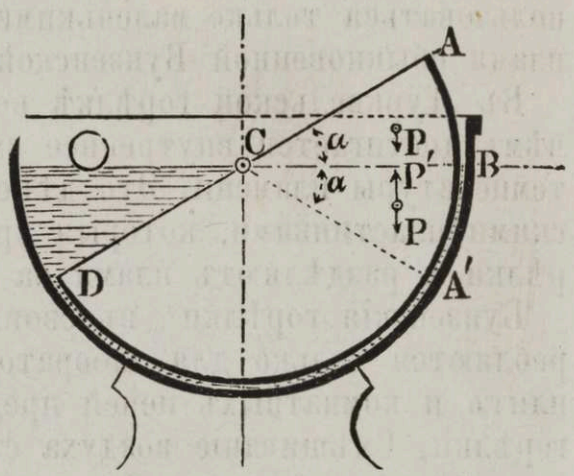
210. Общее замѣчаніе о газовыхъ аппаратахъ для топленія. Чтобы по возможности сберечь газъ, употребляютъ для варки сосуды изъ чистой бѣлой жести, которые имѣютъ снаружи сводчатое дно, окруженное краемъ, выступающимъ приблизительно на палецъ въ ширину. Этотъ край удерживаетъ теплоту, а сводчатое дно обусловливаетъ расширеніе пламени, которое едва однако должно распространяться до половины радіуса дна. Выгодно затѣмъ употреблять двустѣнные сосуды съ двустѣнной закрывающейся крышкой. Для этой цѣли горшкообразному сосуду придаютъ форму усѣченнаго конуса, широкое основаніе котораго должно служить дномъ, сосудъ окружается затѣмъ цилиндрической рубашкой, которая плотно прилегаетъ къ основанію, а отъ верхняго края отстоитъ на величину около 2 сантиметровъ. Образованное такимъ образомъ промежуточное кольцеобразное пространство закрыто наверху; внутренній сосудъ поэтому окруженъ воздушной рубашкой, которая предотвращаетъ лучеиспусканіе наружу. Еще лучше наполнить промежуточное пространство несгораемымъ плохимъ проводникомъ теплоты, какъ напримѣръ золой или инфузорной землей.

211. Газовые часы, газомѣры. Различаютъ мокрые и сухіе газомѣры; первые (фиг. 691 газомѣръ Клегга и Кослея) должны быть установлены точно горизонтально въ умѣренно теплыхъ помѣщеніяхъ, если-же они подвергаются дѣйствію холода, то вкладываются въ деревянные (снабженные дверями) ящики, при чемъ промежутокъ между счетчикомъ и стѣнками ящика заполняется худыми проводниками тепла (древесными опилками, соломой). Если такая обдѣлка недостаточна, то для наполненія, вмѣсто воды, лучше брать глицеринъ, не содержащій кислоты и смѣшанный съ водой (на 70 частей глицерина 30 частей воды), но и глицеринъ въ новѣйшее время отбрасывается, ибо съ теченіемъ времени онъ разлагается. Сухіе газомѣры (напр. газомѣръ Гловера) не замерзаютъ и могутъ занимать наклонное положеніе; измѣряющее пространство остается въ нихъ постояннымъ *), въ мокрыхъ-же

*) Точность измѣренія въ сухихъ газовыхъ часахъ не больше, чѣмъ въ мокрыхъ.



Фиг. 691.



Фиг. 692.

это возможно только при опредѣленномъ (нормальномъ) уровнѣ воды или глицерина; если же уровень понижается, то при каждомъ оборотѣ барабана проходитъ болѣе газа, чѣмъ преждѣ. При слишкомъ горячемъ состояніи газомѣра происходитъ увеличеніе объема газа (въ ущербъ потребителямъ), которое на 1°Ц. составляетъ 0,53%.

Газомѣръ уменьшаетъ давленіе свѣтильнаго газа на $2^1/_2$ до 5 мм.

При мокрыхъ газомѣрахъ по временамъ слѣдуетъ дѣлать осмотръ, чтобы убѣждаться въ томъ, имѣется-ли въ нихъ еще достаточное количество запирающей жидкости (воды или глицерина). Поэтому употребляютъ предохранительный поплавокъ, который при слишкомъ большомъ пониженіи уровня жидкости запираетъ притокъ газа. Для очень точныхъ измѣреній къ газовымъ часамъ присоединяютъ поплавокъ Сандерса (фиг. 692), который поддерживаетъ уравень жидкости неизмѣннымъ до тѣхъ поръ, пока его корытце имѣетъ запасъ.

При нормальныхъ условіяхъ, вода въ мокрыхъ газомѣрахъ не накопляется, а, наоборотъ, испаряется. Если-же газомѣръ стоитъ въ пространствѣ, температура котораго ниже температуры газа, приходящаго снаружи, то вода въ немъ накопляется. Температура газа среднимъ числомъ составляетъ $8^0 R$.

212. Сѣть трубъ. Она состоитъ изъ главнаго газопровода, изъ подводящихъ трубъ и изъ домоваго провода.

1) Главный газопроводъ. Въ практикѣ считаютъ 6 горѣлокъ на 1 кв. см. площади трубъ или 0,000016 кв. м. на 1 горѣлку расходующую въ часъ 140 литр. газа. Отсюда:

Число огн.	Діаметръ въ мм.	Число огн.	Діаметръ въ мм.	Число огн.	Діаметръ въ мм.
117	50	1060	156	2945	250
255	75	1443	175	4247	300
417	120	1885	200	6626	375
736	125	2386	225	9542	450

Если мѣстныя условія требуютъ, чтобы главная вѣтвь за газомѣромъ не имѣла къ нему уклона, при чемъ проводъ долженъ быть въ землѣ, то въ самыхъ низкихъ пунктахъ его устраивается сифонъ; нѣкоторые размѣры указаны въ приведенной таблицѣ.

Ширина газовыхъ трубъ.		Величина сифоновъ.	
		Діаметръ.	Высота.
Внутренній діаметръ . .	25— 40 мм.	200 мм.	300 мм.
„ „	50— 70 „	250 „	400 „
„ „	100—150 „	300 „	450 „

Разстоянія между сифонами въ большихъ проводахъ въ большинствѣ случаевъ берутся отъ 100 до 150 м.; газовыя трубы имѣютъ къ сифонамъ наименьшій уклонъ 1:400.

Чугунныя трубы прокладываются на глубинѣ около 2 м. Нижній грунтъ слѣдуетъ укрѣпить хрящомъ и пескомъ и затрамбовать накрѣпко. Если нельзя избѣжать пересѣченія каналовъ, то на газовую трубу надѣвается широкая труба, совершенно отдѣляющая первую отъ канала; соединенія трубъ въ каналѣ слѣдуетъ избѣгать. Наименьшія чугунныя трубы, прокладываемыя въ почвѣ, имѣютъ діаметръ въ 40 мм.;

Необходимо испытаніе герметичности каждаго провода. Въ большинствѣ случаевъ, если трубы передъ употребленіемъ испытаны на давленіе по меньшей мѣрѣ въ 6 атмосферъ, достаточно бываетъ испытанія провода при помощи воздушнаго насоса на давленіе ртутнаго столба высотою въ 35 см. Абсолютно плотныхъ длинныхъ проводовъ быть не можетъ; неизбѣжная потеря газа въ сѣти трубъ не должна превышать 10%.

2) Подводящія трубы соединяютъ главные проводы съ домовыми и съ фонарями; ихъ уклонъ всегда къ главному проводу. Ихъ ширина:

1 до 15 огней	25 мм.	56 до 80 огней	45 мм.
16 „ 25 „	30 „	81 „ 100 „	50 „
26 „ 40 „	35 „	101 „ 140 „	55 „
41 „ 55 „	40 „	141 „ 170 „	60 „

3) Домовые газопроводы изъ желѣзныхъ трубъ примыкаютъ къ газомѣру и имѣютъ къ нему уклонъ.

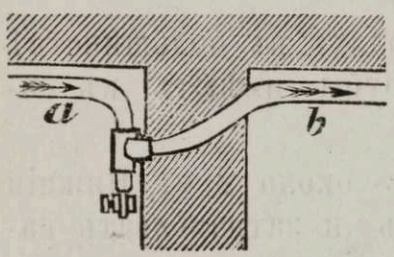
Запорныя приспособленія, находящіяся въ землѣ, золотники, (фиг. 693) краны, сифоны и пр. снабжаются особой желѣзной обкладкой, сообщающейся съ поверхностью земли.

Въ задній газовый проводъ передъ газомѣромъ снабжается латуннымъ крантомъ или особымъ вентилемъ (въ пунктѣ легко доступномъ).

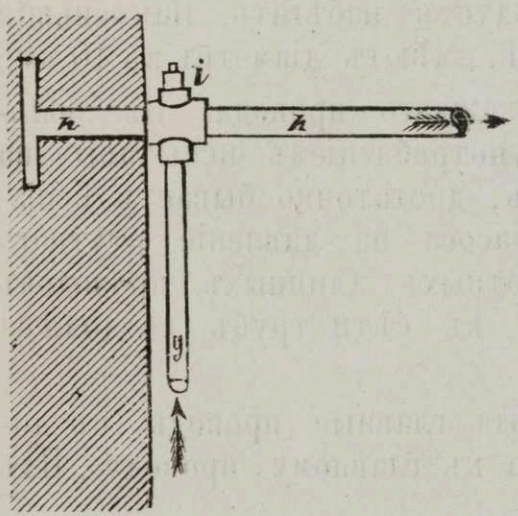
Проводящія трубы помѣщаются по возможности въ пространствахъ съ одинаковой температурой, при чемъ избѣгается въ особенности переходъ изъ теплыхъ мѣстъ въ холодныя. Гдѣ этого избѣжать нельзя, тамъ трубамъ даютъ уклонъ отъ болѣе холоднаго пространства къ болѣе теплому (фиг. 694). Труба идетъ черезъ теплое пространство a, гдѣ устроенъ водяной мѣшокъ, и проходитъ черезъ него, поднимаясь въ болѣе холодное пространство *S*.

Здѣсь необходимо упомянуть о часто встрѣчающемся случаѣ, гдѣ трубы для уличныхъ фонарей выходятъ изъ теплыхъ пространствъ; при этомъ свободно лежащая труба должна быть достаточно широка (обыкновенно $^3/_4$ дюйм.). Этотъ примѣръ указанъ на фиг. 695. Приводящая труба g, шириною въ $^3/_8$ дюйм. поднимается по стѣнѣ снаружи и входитъ въ крестообразный кусокъ, въ который ввинчена труба, идущая въ фонарь шириною въ $^3/_4$ дюйм. Желѣзный кусокъ k, входящій въ стѣну, закрѣпляетъ всю систему. Въ случаѣ, если въ g или h образуется ледъ, то отвинтивъ пробку i, въ проводъ при помощи воронки можно налить спирта и расплавить такимъ образомъ ледъ.

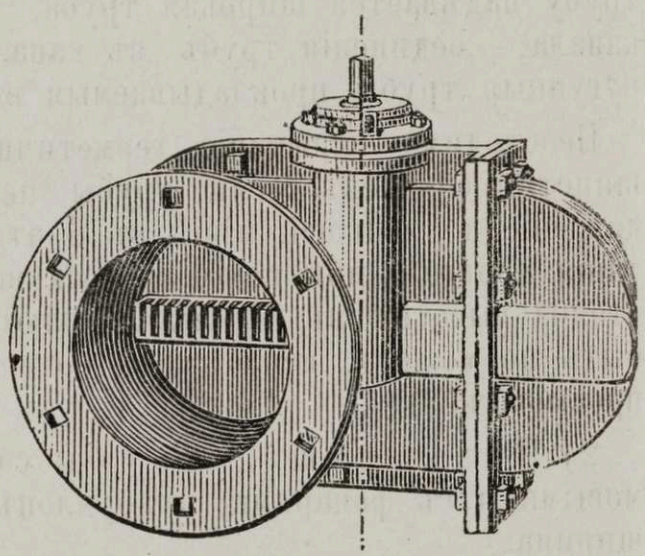
Если проводъ поднимается изъ ямы, то употребляютъ не колѣно и не дугу, но крестообразный кусокъ или тройникъ, такъ что во всякое время трубу можно открыть и очистить отъ грязи.



Фиг. 694.



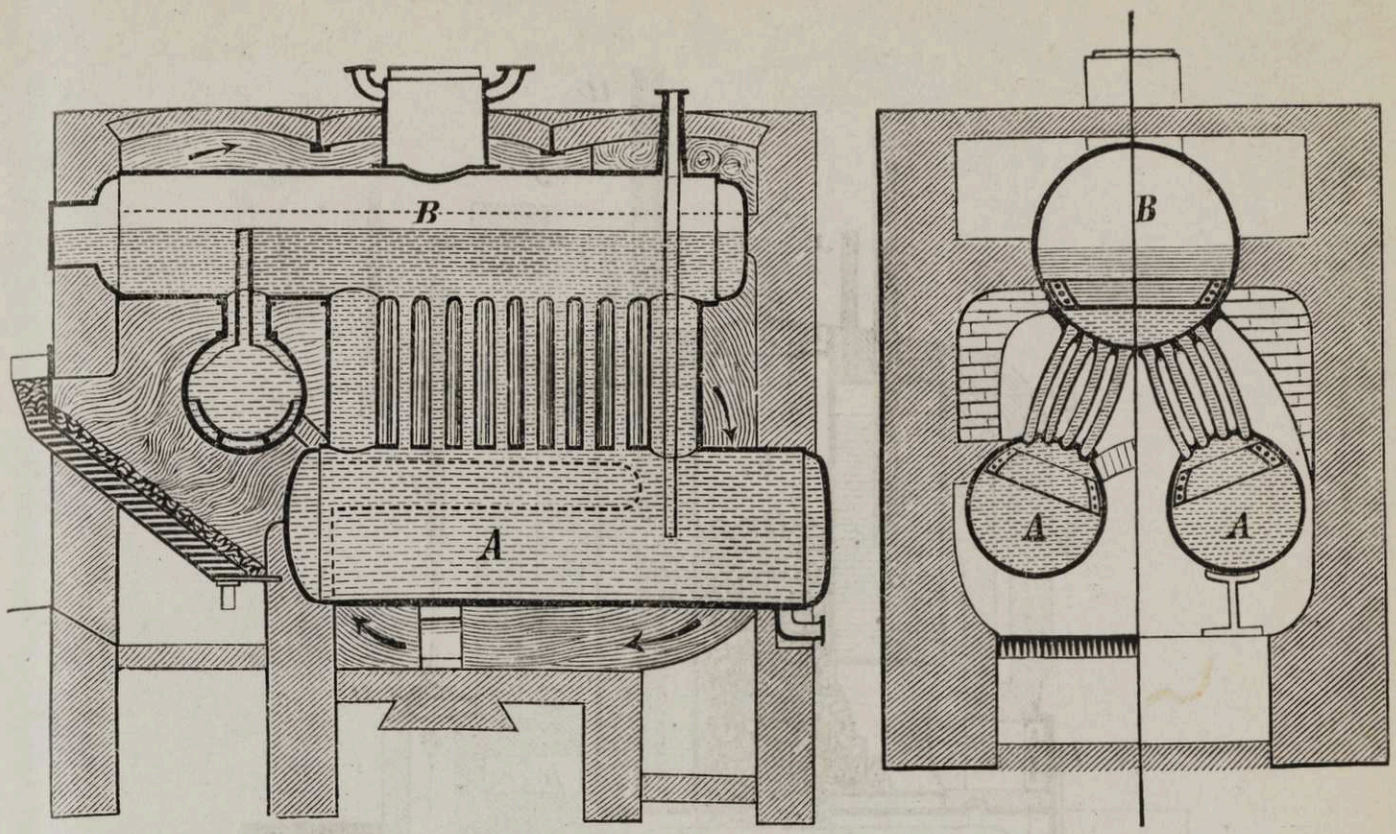
Фиг. 695.



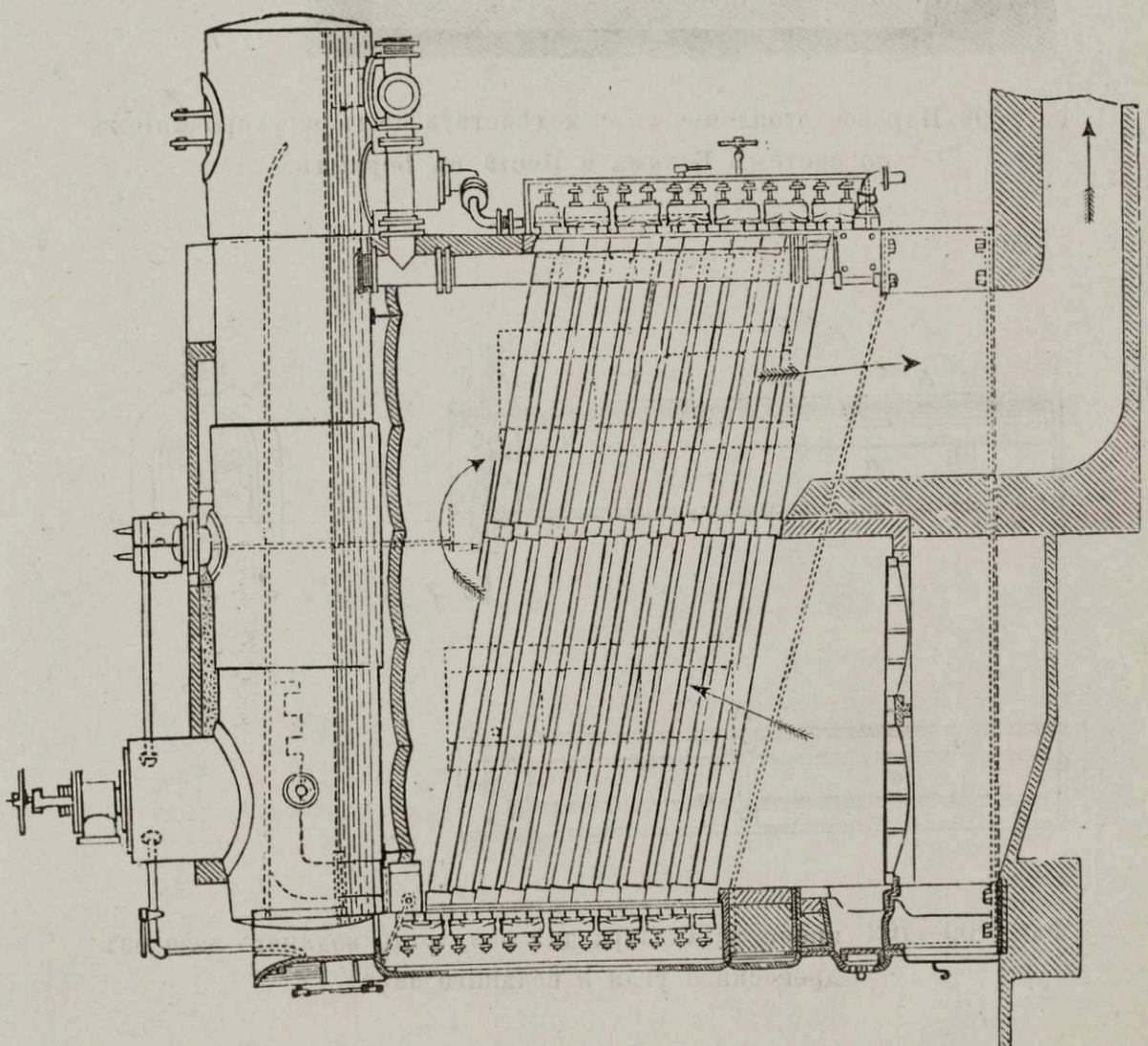
Фиг. 693.

Таблица для выбора діаметра домовыхъ газопроводовъ.

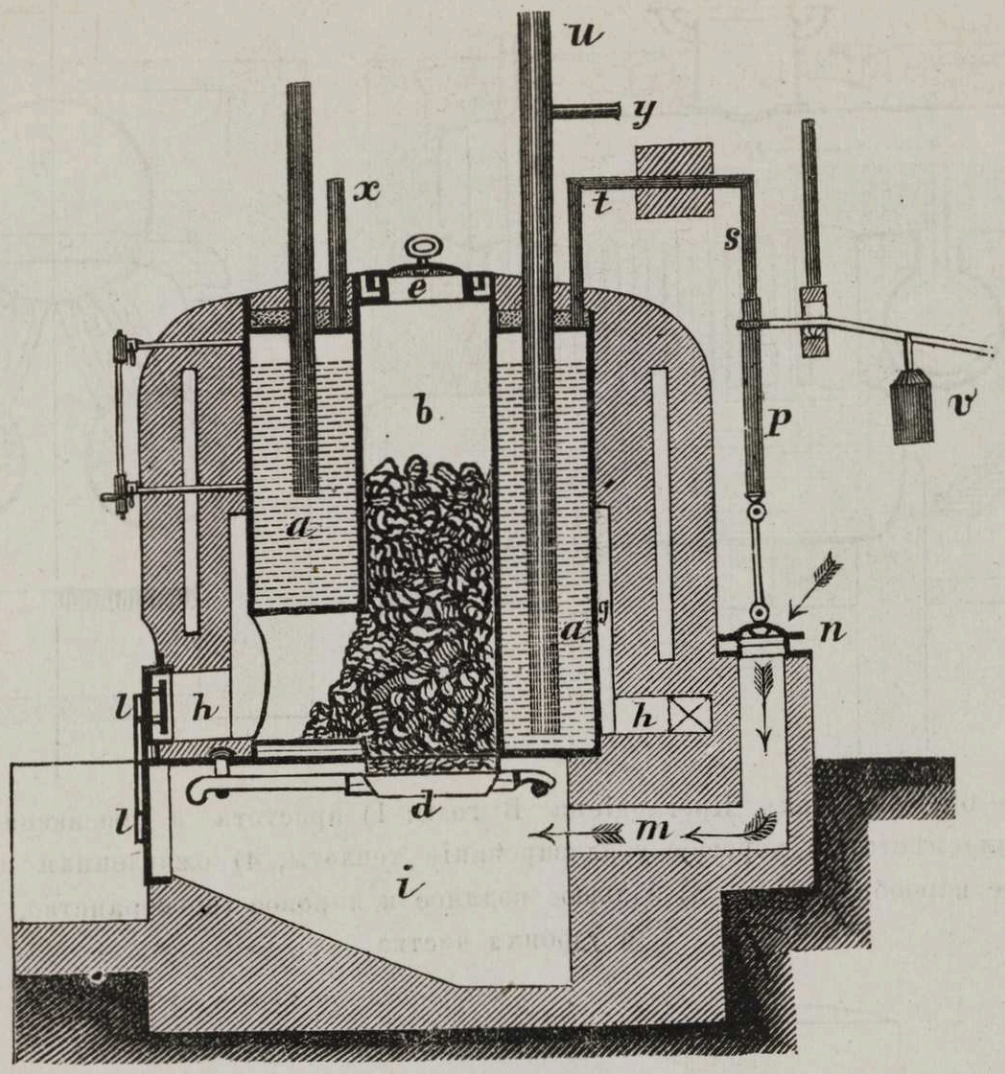
Длина провода въ м.	При діаметрахъ трубъ въ						
	13	16	19	25	32	38	52 мм,
	$^1/_2$ д.	$^6/_8$ д.	$^3/_4$ д.	1 д.	$1^1/_4$ д.	$1^1/_2$ д.	2 д. англ.
	Число горѣлокъ для потери давл. водян. столба высот. в 1 мм.						
3	14	25	42	90	160	260	540
6	10	18	30	65	115	185	390
10	8	16	26	56	100	160	330
15	7	12	20	42	75	125	260
20	6	10	18	38	68	110	230
25	5	9	15	33	60	95	200
30	4	8	13	29	52	85	180
50	3	6	10	23	41	66	140
100	2	4	7	16	30	50	100
150	2	3	6	13	25	40	80
200	2	3	5	11	20	32	70
250	1	2	5	10	18	30	60
300	1	2	4	9	16	25	55



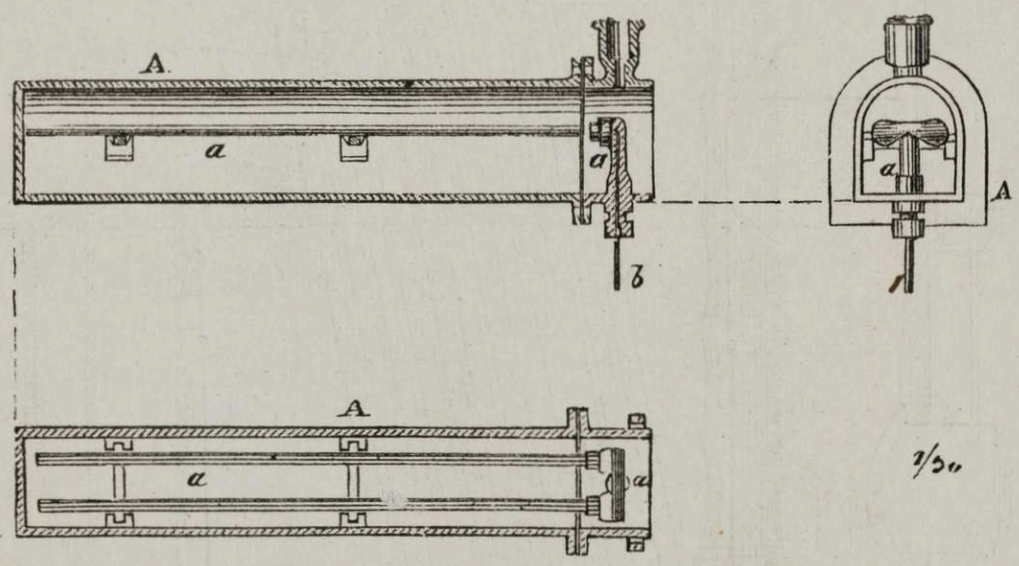
Фиг. 696—697. Паровикъ Прегардіена. Выгоды: 1) простота и дешевизна, 2) занимаетъ мало мѣста, 3) хорошее утилизированіе теплоты, 4) оживленная циркуляція и быстрое парообразованіе, 5) большое водяное и паровое пространство, 6) легкая и удобная чистка.



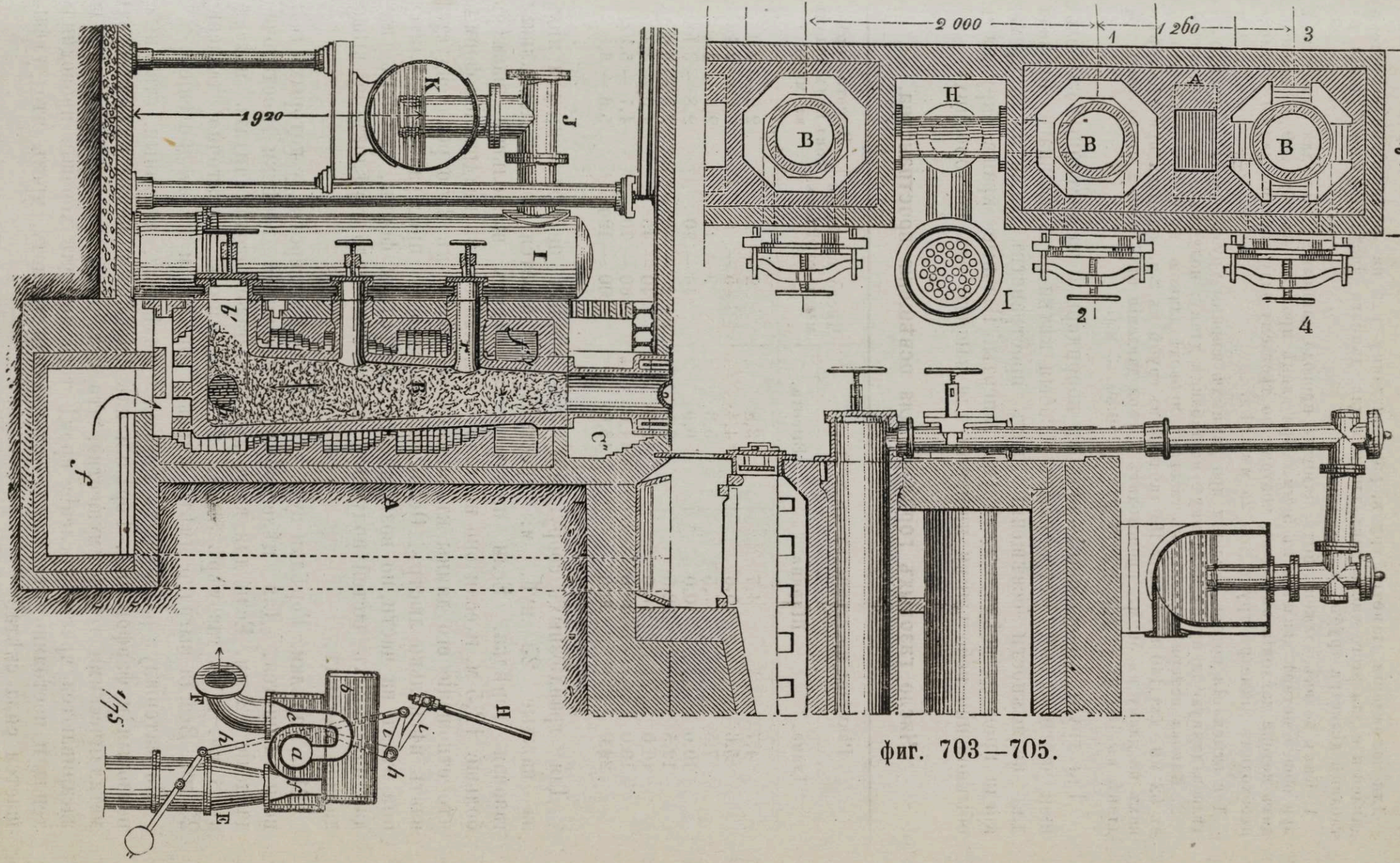
Фиг. 898. Паровикъ де Найе. См. паровые котлы.



Фиг. 699. Паровое отопленіе съ самодѣйствующимъ регулированіемъ по системѣ Бехема и Поста въ Берлинѣ.



Фиг. 700—702 приборъ Жилляра для полученія водянаго газа изъ древеснаго угля и водянаго пара.



фиг. 703—705.

Для нахожденія діаметра трубъ, раздѣли длину ихъ на располагаемую потерю давленія и для этого числа какъ длины и для даннаго числа горѣлокъ найди въ таблицѣ діаметра трубъ.

1. Какъ великъ долженъ быть діаметръ провода длиною въ 50 м. для 50 горѣлокъ при общей потерѣ давленія въ 5 мм.? При длинѣ провода въ 50:5=10 м. происходитъ потеря давленія въ 1 мм., поэтому по третьему ряду таблицы для 50 горѣлокъ необходимъ діаметръ трубъ въ 25 мм.=1 д.

Для отысканія потери давленія при данныхъ ширины трубъ и числѣ огней, раздѣли заданную длину на найденную по таблицѣ длину; получится потеря давленія.

2. Какова потеря давленія въ газовомъ проводѣ длиною въ 150 м. и діаметромъ въ 52 мм. для 140 горѣлокъ? По таблицѣ въ трубѣ въ 2 д. діаметра при 140 горѣлкахъ на длину въ 50 м. происходитъ потеря давленія въ 1 мм., а стало быть при длинѣ въ 150 м. потеря будетъ равна 150:50=3 мм.

Для трубъ, проводящихъ газъ въ корридоры и на лѣстницы, въ большей части зданій устраиваютъ особыя вѣтви отъ главнаго провода для возможности освѣщенія этихъ пространствъ даже въ то время, когда проводы всѣхъ этажей уже заперты. Главные краны окружаютъ обыкновенно небольшими ящиками для защиты отъ постороннихъ.

Число газовыхъ горѣлокъ для освѣщенія пространства.

Размѣры пространства въ метр.			Число необходимыхъ горѣлокъ.	Высота горѣлокъ надъ поломъ въ метр.
Длина.	Ширина.	Высота.		
4,7	4,7	3,8	2 — 3	2,0 — 2,2
5,6	5,6	4,4	5 — 6	2,2 — 2,4
7,5	7,5	5,3	9 — 12	2,5 — 2,8
10,0	10,0	6,9	16 — 20	2,8 — 3,1
12,5	12,5	9,5	25 — 30	2,5 — 3,8
16,0	16,0	12,5	40 — 45	4,0 — 4,4
19,0	29 0	14,0	60 — 70	4,7 — 5,3
22,0	22,0	16,0	100 — 120	5,6 — 6,3

Для грандіозныхъ сооруженій эти данныя не годятся; для нихъ на каждые 25 куб. м. пространства берется одна нормальная газовая горѣлка. Если пространство имѣетъ наибольшій размѣръ больше 12,5 м. и если оно настолько уклоняется отъ квадратной формы, что отношеніе его длины къ ширинѣ больше 3 къ 2, то рекомендуется взять нѣсколько люстръ. Основная поверхность пространства дѣлится при этомъ на части, по возможности, квадратной формы, при чемъ каждая изъ такихъ частей получаетъ извѣстное число горѣлокъ по вышеданной таблицѣ.

213. Горѣлки. Горѣлки суть тѣ источныя отверстія, у которыхъ газъ воспламеняется. Для цѣлесообразно избранной горѣлки достаточно давленіе 12 мм. Если для всего домоваго газопровода считать потерю въ 8 мм. и въ газомѣрѣ 5 мм., то передъ нимъ достаточно давленіе 25 мм. Всегда выгодно имѣть широкія горѣлки и малое давленіе.

По матеріалу различаютъ горѣлки желѣзныя, латунныя, стальныя, пемзовыя и фарфоровыя. Горѣлки изъ фарфора и пемзы имѣютъ предъ металлическими то преимущество, что источныя отверстія никогда не засариваются чрезъ окисленіе; кромѣ того металлъ хорошій проводникъ тепла и постоянно отнимаетъ отъ пламени теплоту, чрезъ что уменьшается сила свѣта.

a) Обыкновенныя горѣлки. Употребительнѣйшія суть: Дырчатая и лучевая горѣлка съ одной круглой дырочкой, изъ которой вытекаетъ газъ (самая плохая, газъ не сгораетъ вполнѣ);

Рыбій хвостъ горѣлка съ двумя источными дырочками, наклоненными одна къ другой подъ прямымъ угломъ (манчестерская);

Разрѣзная или крыло нетопыря горѣлка съ разрѣзомъ, служащимъ источнымъ отверстіемъ (для уличныхъ фонарей);

Аргандова горѣлка, круглая горѣлка, съ извѣстнымъ числомъ расположенныхъ по кругу источныхъ отверстій и съ двойнымъ притокомъ воздуха, который регулируется стекляннымъ цилиндромъ, какъ при всѣхъ круглыхъ горѣлкахъ;

Дюма горѣлка, похожа на Аргандову, только пламя образуется токомъ газа, который выступаетъ изъ круглаго разрѣзнаго отверстія;

Сугга горѣлка, также круглая, но съ другимъ сѣченіемъ дырокъ и съ другой конструкціею газоприводныхъ трубокъ и подведеніемъ воздуха, какъ въ Аргандовой горѣлкѣ;

Сименса точная горѣлка, улучшенная горѣлка Арганда съ весьма тщательно распредѣляемымъ подведеніемъ воздуха.

b) Новыя уличныя горѣлки. Брей'я горѣлка есть разрѣзная бо́льшаго рода, которая употребляется въ видѣ отдѣльной горѣлки или въ соединеніи со второю или третьею;

Лякарріера горѣлка. Шесть большихъ обыкновенныхъ уличныхъ горѣлокъ расположены въ одномъ вѣнцѣ и прикрыты двумя стекляннымі подпертыми колпаками, дабы пламя горѣло спокойно;

Марини-Гэльцера горѣлка есть круглая, діаметромъ 0,13 м. и имѣетъ 250 дырокъ для истеченія;

Бенгеля горѣлка состоитъ изъ металлическаго мундштука съ круглою открытою щелью. Газъ подводится къ ней черезъ нѣсколько вѣтокъ изъ центральной трубы и пламя горитъ около особаго находящагося надъ горѣлкою кружка, который придаетъ ему шарообразную форму.

c) Горѣлки съ подогрѣвомъ воздуха или регенеративныя.

d) Горѣлки съ накаливаніемъ. (Поппа, Кламонда, Ауера).

e) Горѣлки для альбокарбона (см. Симонова, способы домашняго освѣщенія).

f) **Регуляторы.** Эти аппараты служатъ для уравниванія часто очень большихъ давленій въ газовомъ проводѣ. Регуляторы употребляются или для всего провода тотчасъ за газовымъ счетчикомъ, или-же небольшіе для отдѣльныхъ горѣлокъ.

При выборѣ такого аппарата необходимо обратить вниманіе на то, чтобы онъ по величинѣ соотвѣтствовалъ поперечному сѣченію провода; слишкомъ малые регуляторы приносятъ болѣе вреда, чѣмъ пользы.

Недостатки устройства не могутъ быть устранены регуляторомъ даже самой лучшей конструкціи, при слабомъ-же давленіи регуляторы излишни совершенно; такъ при давленіи равномъ давленію водянаго столба въ 15 мм. высотою уже можно устроить регуляторъ.

g) **Рефлекторы, колокола, ширмы.** Газовое пламя слѣдуетъ снабжать рефлекторами для возможности воспользоваться всей силой свѣта. Со-

образно съ цѣлію избирается форма и матеріалъ рефлекторовъ. Металлическіе рефлекторы подъ вліяніемъ теплоты пламени или измѣненій погоды легко дѣлаются тусклыми, почему наиболѣе употребительны рефлекторы изъ зеркальнаго стекла. Весьма распространены рифленые рефлекторы изъ зеркальнаго стекла, а также вогнутые. Въ первомъ случаѣ вогнутая головка разрѣзной горѣлки располагается такимъ образомъ, чтобы пламя и рефлекторъ были параллельны; вторые состоятъ изъ стеклянной ширмы съ двойными стѣнками, внутри посеребренными; они употребляются при круглыхъ горѣлкахъ.

h) **Содержаніе въ исправности и очищеніе.** Всѣ части газопровода должно содержать въ чистотѣ и обращать вниманіе на то, чтобы можно было легко произвести очищеніе его во всякое время. Время отъ времени винты отъ водяныхъ мѣшковъ надо осторожно освобождать, осматривать рабочія отверстія и удалять различныя нечистоты. Засариванія, происходящія вслѣдствіе замерзанія трубъ могутъ быть устранены нагрѣваніемъ ихъ или простымъ введеніемъ спирта.

Тщательное содержаніе горѣлокъ также необходимо. Эту работу надо производить осторожно во избѣжаніе поврежденій. Горѣлки Арганда очищаютъ отъ образующагося въ нихъ графита, помѣщая ихъ въ плоскій сосудъ, содержащій слой селитры въ $^3/_4$ дюйм. Нагрѣваютъ сосудъ до сплавленія селитры, при чемъ графитъ скоро окисляется; послѣ охлажденія селитры горѣлки вынимаются и послѣ промывки въ горячей водѣ опять могутъ идти въ дѣло.

Весьма выгодно примѣненіе газа, служащаго для освѣщенія вагоновъ, для отопленія ихъ. Укрѣпляя надъ газовымъ рожкомъ маленькій котелъ съ водой, изъ котораго двѣ трубки проводятъ воду въ два змѣевика, діам. въ 3 д. и длиною каждый въ 9 дюймовъ, помѣщенные подъ сидѣніемъ. Для циркуляціи воды у котла имѣется трубка, въ которой вода подымается и, пройдя клапанъ, вгоняется въ змѣевики. Эти послѣдніе лежатъ нѣсколько наклонно, сверху вода поступаетъ въ нихъ, а снизу вытекаетъ обратно въ котелъ. Нагрѣваемый воздухъ, проходя по змѣевику, выходитъ, имѣя темпер. въ 27 до 32° Ц. Изъ опытовъ, сдѣланныхъ въ январѣ и декабрѣ мѣсяцахъ, оказалось, что одно пламя, сожигающее 1 куб. ф. нефт. газа въ часъ, достаточно для отопленія одного отдѣленія вагона, причемъ температура наблюдалась отъ 13° до 16° Ц. и ниже 11° не падала.

Выгоды, представляемыя этимъ отопленіемъ слѣдующія. Не требуется истопника, оно весьма равномѣрно, не требуетъ присутствія паровика, какъ при паровомъ отопленіи, во время періода освѣщенія, совпадающаго съ холодами, не стоитъ почти ничего. Къ водѣ прибавлено немного глицерину, чтобы она не замерзала, днемъ поддерживается маленькое пламя.

214. Газъ какъ движущая сила. Изъ газовыхъ двигателей широкое примѣненіе получили: взрывчатыя машины съ сдавливаніемъ заряда. Предъ зажиганіемъ смѣсь сдавливается въ рабочемъ цилиндрѣ на 3,5 до 5,3 атмосферъ; чѣмъ сильнѣе сжатіе, тѣмъ меньше расходъ газа. По этому принципу построенные газовые моторы суть:

1. Отто строитъ горизонтальные и вертикальные моторы и кромѣ того моторы съ двумя цилиндрами спеціально для электрическихъ динамомашинъ.

Машина Отто состоитъ изъ цилиндра, открытаго съ одной стороны, изъ золотника, распредѣляющаго притокъ газа и воздуха, изъ регулятора и двигающихся частей, поршня, шатуна, коленчатой оси и тяжелаго маховика. Работа машины состоитъ изъ 4-хъ періодовъ, 1) всасываніе поршнемъ смѣси газа и воздуха, первый ходъ поршня впередъ;

Желѣзныя трубы.

Употребительные размѣры видны изъ слѣдующихъ таблицъ:

Дымогарныя трубы (заваренныя въ напускъ).

Наружн. діаметръ въ англ. дюйм.	Наружный діаметръ въ мм.	Обыкновенная толщина стѣнокъ въ мм.	Вѣсъ на погонный м.
1 1/4	31,7	2 1/4	1,6
1 1/2	38,1	2 1/4	1,9
1 3/4	44,4	2 1/2	2,5
2	50,8	2 3/4	3,2
2 1/4	57,1	2 3/4	3,6
2 1/2	63,5	3 1/4	4,8
2 3/4	69,8	3 1/4	5,3
3	76,2	3 1/4	5,8
3 1/4	82,5	3 1/2	6,7
3 1/2	88,9	3 1/2	7,3
3 3/4	95,2	3 1/2	7,8
4	101,6	4	9,5
4 1/4	107,9	4	10,2
4 1/2	114,3	4	10,8
4 3/4	120,6	4 1/2	12,8
5	127,0	4 1/2	13,5
5 1/4	133,3	4 1/2	14,2
5 1/2	139,7	5	16,5
5 3/4	146,0	5	17,2
6	152,4	5	18,1
6 1/2	165,1	5	19,6
7	177,8	5	21,2
7 1/2	190,5	5 1/2	24,9
8	203,2	6	28,9
8 1/2	215,9	7	35,8
9	228,6	7	38,0
9 1/2	241,5	8	45,6
10	254	8	48,2
10 1/2	266,7	8 3/4	55,3
11	279,4	8 3/4	58,0
11 1/2	292,1	9 1/2	65,7
12	304,8	9 1/2	68,7

Длина не больше 5 м.

Трубы меньшаго или большаго діаметра по заказу.

Газовыя трубы (заваренныя въ стыкъ).

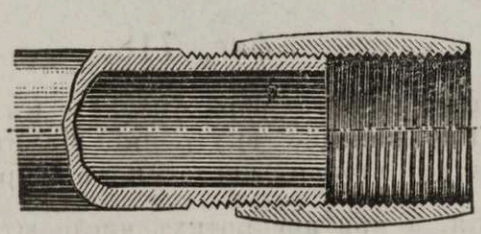
Внутренній діаметръ въ англ. дюйм.	Внутренній діаметръ въ мм.
1/8	3,2
1/4	6,3
3/8	9,5
1/2	12,7
3/4	19,0
1	25,4
1 1/4	31,7
1 1/2	38,1
1 3/4	44,4
2	50,8
2 1/4	57,1
2 1/2	63,5
2 3/4	69,8
3	76,2
3 1/2	88,9
4	101,6

Въ кускахъ длиною до 14′ англ. ≏ 4270 мм.

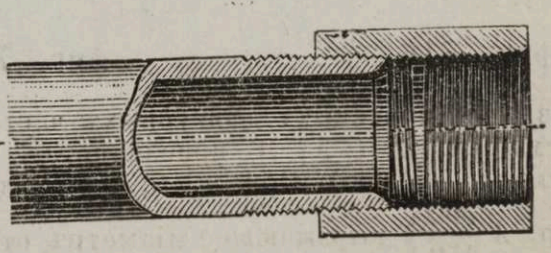
Обыкновенно діаметры отъ 3/8″ до 3″ на складѣ.

Трубы Перкинса.

Наружный діаметръ въ мм.	Внутренній діаметръ въ мм.
34	22
25	16
25	13

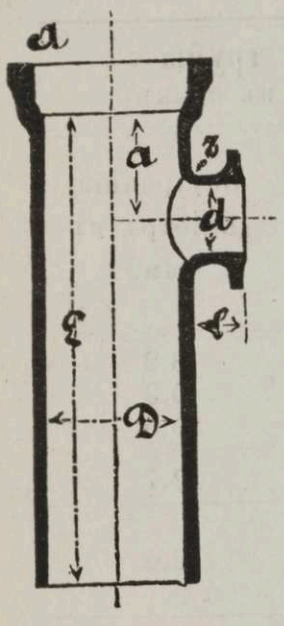


фиг. 706.

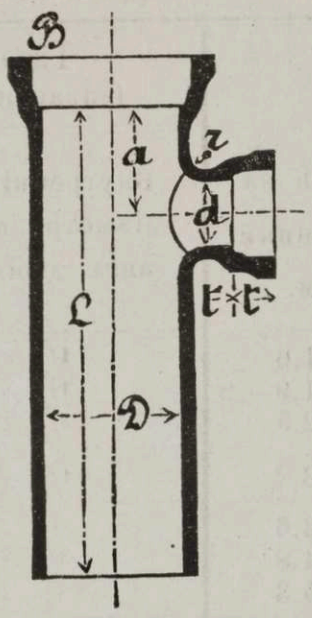


фиг. 707.

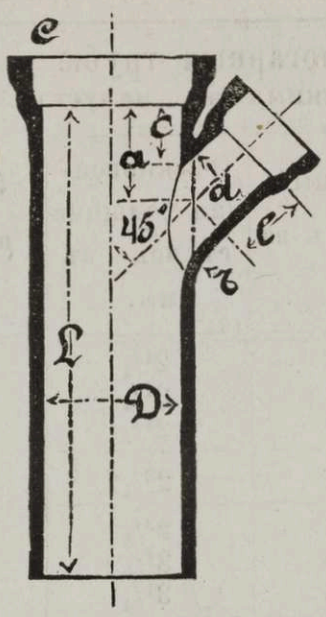
Нормальныя фигурныя части для чугунныхъ трубо проводовъ.



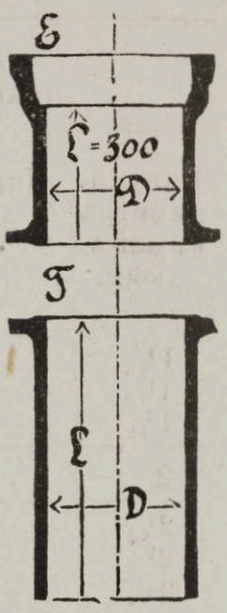
фиг. 708.



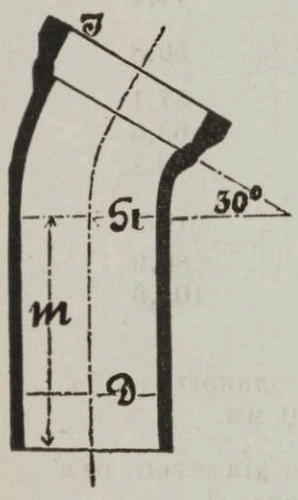
фиг. 709.



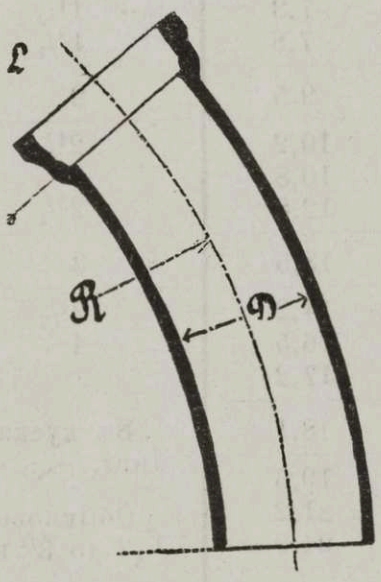
фиг. 710.



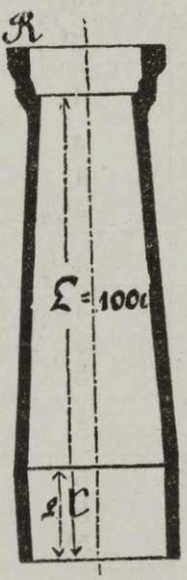
фиг. 711.



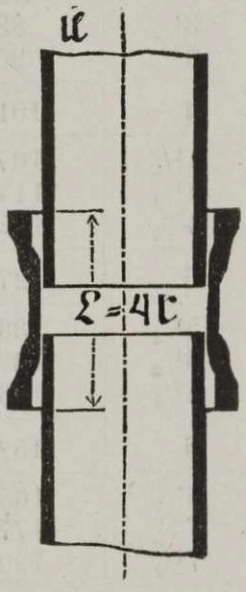
фиг. 712.



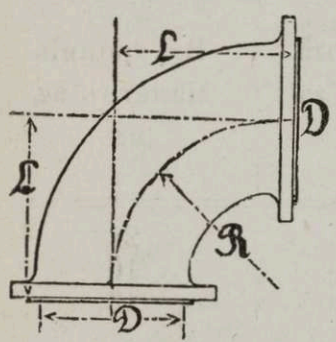
фиг. 713.



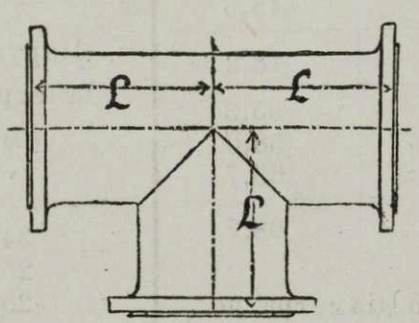
фиг. 714.



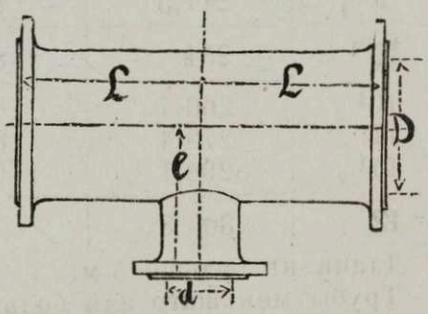
фиг. 715.



фиг 716.



фиг. 717.



фиг. 718.

Обозначенія разныхъ фигурныхъ частей дѣлается такимъ образомъ, что къ названіямъ (*A*, *B*, *C* . . .) прибавляется число, выражающее внутренній діаметръ, напримѣръ (*E* 300). При *A*, *B*, *C* - придается еще второе число подъ чертою $\left(\text{напр. } A\,\frac{300}{150}\right)$ выражающее діаметръ отвѣтвленія, а при поворотахъ число штукъ въ четверти круга.

Части A и B.

$a = 100 + 0{,}2\ D + 0{,}5\ d$ мм.,
$l = 120 + 0{,}1\ d$ мм.,
$t =$ глубина муфты.
$r = 40 + 0{,}05\ d$ мм.

D Діаметръ главной трубы мм.	d Діаметръ отвѣтвленія мм.	L Строите. длина м.
40 до 100	40 до 100	0,8
125 „ 325	40 „ 325	1,0
350 „ 500	40 „ 300	1,0
	325 „ 500	1,25
550 „ 750	40 „ 250	1,0
	275 „ 500	1,25
	550 „ 750	1,5

Часть E.

$L = 300$ мм.

Часть F.

$L = 600$ для $D =$ 40 до 475,
$L = 800$ „ $D =$ 500 „ 750.

Часть J.

$$R = \begin{cases} 250 \text{ для } D = 40 \text{ до } 90, \\ 150 + D \text{ для } D \geqq 100, \end{cases}$$

$$m = \begin{cases} 200 + D \text{ для } D = 40 \text{ до } 375 \\ 600 \text{ мм. „ } D \geqq 400. \end{cases}$$

Часть C.

$a = 80 + 0{,}1\ D + 0{,}7\ d$ мм.,
$c = 80 + 0{,}1\ D$,
$l = 0{,}75\ a$,
$r = d$

D Діаметръ главной трубы мм.	d Діаметръ отвѣтвленія мм.	L Строит. длина м.
40 до 100	40 до 100	0,8
125 „ 275	40 „ 275	1,0
300 „ 425	40 „ 250	1,0
	275 „ 425	1,25
450 „ 600	40 „ 250	1,0
	275 „ 425	1,25
	450 „ 600	1,50
650 „ 750	40 „ 250	1,0
	275 „ 425	1,25
	450 „ 600	1,5
	650 „ 750	1,75

Часть K.

$R = 10\ D$.

Часть L.

Для $D \geqq 300$ берутъ $R = 5\ D$.

Часть R.

(Переходная труба) $L = 1000$.

Часть $Ü$.

(Двойная муфта) $L = 4\ t$.

Для фиг. 716 до 718 берутъ: $L = D + 100$,

для фиг. 718 $$l = \frac{D}{2} + \frac{d}{2} + 100.$$

Строительная длина запорныхъ задвижекъ:

для задвижекъ съ флянцами $L = D + 200$ мм.

„ задвижекъ съ муфтами съ заколачиваемыми кольцами $L = 0{,}7\ D + 100$ мм,

„ „ „ „ съ заливными кольцами $L = D + 250 - 2\ t$.

Всѣ фигурныя части діаметромъ больше 750 мм. не разсматриваются за нормальныя фигурныя части.

При вычисленіи вѣса фигурныхъ частей слѣдуетъ къ вѣсу, вычисленному по нормальнымъ размѣрамъ, сдѣлать прибавку въ 15%, а при поворотахъ въ 20%. Тѣ отвѣтвляющія части, коихъ отвѣтвленіе имѣетъ діаметръ 400 мм. и болѣе при рабочемъ давленіи свыше 2 атм. слѣдуетъ усиливать вслѣдъ ихъ стѣнкахъ, такъ въ случаѣ надобности и помощію реберъ.

2) сдавливаніе этой смѣси до 3 атм. и первый ходъ поршня назадъ; 3) взрывъ смѣси и второй ходъ поршня впередъ; 4) выходъ продуктовъ горѣнія черезъ особый клапанъ и второй ходъ поршня назадъ. Расходъ газа на лошадиную силу въ часъ 850 литр. (включая зажиганіе) для моторовъ хорошо содержимыхъ силою отъ 4 до 8 лошадей; (см. Traité des moteurs à gaz par A. Witz); но онъ можетъ понижаться до 680 литр., если сжатіе смѣси достаточное (до 5,3 атм.) *). При установкѣ мотора слѣдуетъ держаться слѣдующихъ размѣровъ трубъ.

	Сила газомотора.					
	½	1	2	4	6	8
	Внутренній діаметръ трубъ въ мм.					
при длинѣ трубы до 5 м.	16	20	20	26	34	34 мм.
„ „ „ 35 м.	20	26	34	40	50	50 мм.
отростокъ на глав. трубѣ.	26	34	40	50	65	65 мм.
газгольдеръ для.	5	10	20	30	50	60 горѣлокъ.

Если кромѣ того черезъ эти трубы долженъ газъ проходить къ горѣлкамъ, то трубы надо взять шире.

Если разстояніе мотора отъ газометра болѣе (35 м.) 115 фут. то газометръ долженъ быть на 10 горѣлокъ больше, чѣмъ указано въ таблицѣ.

Для скопленія газа ставятся одинъ или два резиновыхъ мѣшка на разстояніи не болѣе (5 м.) отъ мотора, причемъ кранъ долженъ быть между газометромъ и резиновымъ мѣшкомъ.

Для того, чтобы пламя на горѣлкахъ, питаемыхъ изъ одной трубы съ моторомъ, не вздрагивало, устанавливаютъ особые регуляторы. Труба для выхода продуктовъ горѣнія вводится въ особый горшокъ, который слѣдуетъ ставить по возможности внѣ зданія, т. к. въ немъ осаждается вода и изъ него ведется труба по возможности высоко. Цилиндръ охлаждается водой, причемъ можно пользоваться или водой изъ водопровода или можно установить резервуаръ съ извѣстнымъ количествомъ воды; на лошадиную силу (50 литр.) 4 ведра въ часъ, подбавляя только убыль отъ испаренія (1 ведро въ день). Въ обоихъ случаяхъ слѣдуетъ регулировать притокъ воды такъ, чтобы температура выходящей воды = 70° Ц. Чтобы пустить моторъ въ ходъ, слѣдуетъ только повернуть маховикъ, открывъ нѣсколько впускной кранъ, и зажечь газъ въ золотникѣ.

Большое число машинъ Отто съ 2 цилиндрами, силою отъ 50 до 60 лошадей, уже примѣнены во Франціи и Германіи. Двигатели въ 120 лош. имѣютъ 4 цилиндра, дѣлаютъ 140 оборотовъ и расходуютъ только 680 литр. газа на силу въ часъ; одна изъ этихъ машинъ, установленная въ сахаро-рафинадномъ заводѣ въ Эльсдорфѣ, питалась газомъ, добываемымъ

*) Revue technique de l'exposition universelle de 1889. Теоретически расходъ газа на силу можетъ быть 316 литр. въ часъ при начальномъ сжатіи до 3 атм.

въ самомъ заводѣ; расходъ на лошадь—часъ не превышалъ при этихъ условіяхъ 2,2 сантимовъ (менѣе 1 копѣйки), что составляетъ весьма замѣчательный результатъ.

Моторы Крослея отличаются отъ Оттовыхъ только деталями. Говорятъ, что вертик. двигатель Крослея съ 1 цилиндромъ въ 120 лош. расходуетъ только 420 литровъ на индикаторную лошадь—часъ.

II. Машина Делямаръ-Дебутвилля и Маландена (Симплексъ) работаетъ на тѣхъ же основаніяхъ, но имѣетъ воздушный регуляторъ и электрическій запалъ; при каждой машинѣ доставляется элементъ (Грене) и бобина Румкорфа. Происходитъ взрывъ при каждыхъ 2 оборотахъ, причемъ взрывающаяся смѣсь была сжата до 4,36 атм., вслѣдствіе чего значительно уменьшается расходъ *) газа на лошадь—часъ. Имѣется приборъ для автоматическаго пусканія машины въ ходъ и для остановки ея въ желаемой точкѣ. Не смотря на сильное сжатіе газа, ходъ двигателя Симплексъ плавный и безшумный. Одноцилиндровый двигатель Симплексъ въ 100 лош. (діам. цил. 575 мм., ходъ 950 и обор. 107 въ мин.), работавшій на Парижской выставкѣ, требуетъ угля меньше, чѣмъ машина Корлисса, а именно только 600 граммовъ на лошадь-часъ. Моторъ Делямара изготовляется у Томаса Повелля въ Руанѣ (нынѣ Маттеръ и К°), у Штейнлена въ Мюльгаузенѣ и пр. Эти оба мотора весьма удобны и обходятся дешевле паровыхъ, (считая за 1 кубич. метр. газа 6 сантимовъ или около 2 коп.); **) они не требуютъ особаго машиниста, занимаютъ мало мѣста, требуютъ мало ремонта, могутъ быть поставлены въ любомъ этажѣ и могутъ быть во всякое время, въ нѣсколько минутъ, пущены въ ходъ.

III. Моторъ Бишопа строится для весьма малыхъ силъ (отъ 3 до 75 килограмметровъ). Онъ вертикальный, для охлажденія цилиндра окруженъ многими тонкими ребрами, и значитъ не требуетъ охлажденія водой. Цилиндръ открытъ на верху, и продолженіе его въ видѣ трубы служитъ направляющею для кулака шатуна, между тѣмъ какъ самый шатунъ эксцентриченъ. Этотъ моторъ весьма удобенъ для мелкихъ производствъ.

IV. Моторъ Ленуара съ горизонтальнымъ реберчатымъ цилиндромъ и съ электрическимъ зажиганіемъ. Для двигателя въ 2 лошади Треска опре-

---

*) При опытахъ машина Симплексъ діаметромъ въ 200 мм., ходъ 400 мм., при 160 обор. давала 9 дѣйств. лошадей при расходѣ газа 562 литра на лошадь—часъ; таже машина, питаясь газомъ Довзона и работая при большемъ сжиманіи (до 6,8 атм.), нежели на городскомъ газѣ, могла развивать 7 лошадей, расходуя 2459 литра на силу—часъ. Равномѣрность хода была замѣчательная въ обоихъ случаяхъ. Описаніе и хорошіе рисунки машины Делямара въ Publication industrielle par Armengaud aîné tome XXX. Машина можетъ также работать на карбурированномъ воздухѣ; благодаря этому газовые моторы теперь можно примѣнять при земледѣльческихъ работахъ, а также на пароходахъ и вообще вездѣ, гдѣ нѣтъ свѣтильнаго (городскаго) газа; нужно только имѣть карбураторъ. Полученіе газа Довзона тоже очень легко и даетъ движущую силу дешевле, чѣмъ даетъ ее паръ, такъ какъ 1 куб. м. Довзонскаго (полуводянаго) газа стоитъ отъ 1,38 до 1,88 сантима.

**) Потребители могутъ сами добывать прекрасный газъ по этой цѣнѣ и даже дешевле, напр. у Пфейфера и Лангена въ Эльсдорфѣ цѣна куб. метра газа 3,25 сантима или немного больше 1 копѣйки. См. Bulletin de la Société des Ingenieurs civils. 1888 года. Городской же газъ, доставляемый газовыми компаніями, стоитъ отъ 20 до 30 сантимовъ (7,5 до 11 коп.) за 1 куб. м.

дѣлилъ изъ опытовъ расходъ газа въ 655 литровъ на лошадь—часъ. Братья Руаръ строятъ моторъ Ленуара съ воздушнымъ карбураторомъ, питаемымъ газолиномъ; тогда лошадь—часъ беретъ 0,607 литра газолина, вѣсящаго 650 гр. въ литрѣ. При цѣнѣ 0,5 франка за литръ, лошадь—часъ стоитъ 0,32 франка.

IV. Двигатель Шарона въ 4 силы расходуетъ 535 литр. газа на лошадь—часъ; температура выходящихъ газовъ была 250°, что зависитъ отъ полнаго расширенія взрываемаго газа. Запалъ электрическій.

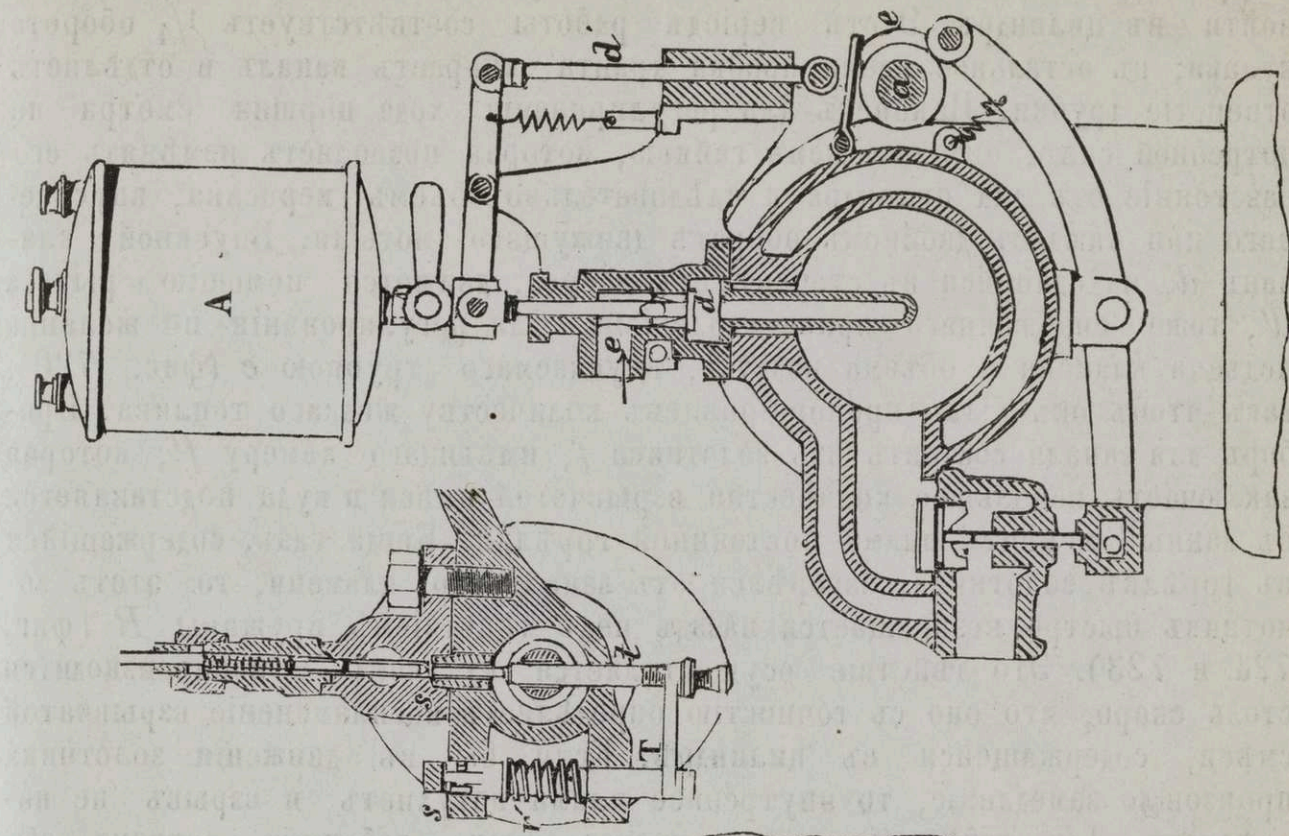
V. Моторъ Дюрана можетъ работать по желанію газомъ или керосиномъ; запалъ электрическій Карбураторъ Дюрана дѣйствуетъ и регулируется самъ собою; расходъ керосина (уд. в. 0,70 и 0,72) былъ 0,667 литра на лошадь часъ. Расходъ газа 712 литр. Описаніе у Арманго въ 32 томѣ.

VI. Моторъ Бенца строится всегда горизонтальный; зажиганіе совершается электрическимъ путемъ.

Кромѣ этихъ дѣлаются еще моторы съ различными видоизмѣненіями, но всѣ по указанной четырехтактной системѣ, напр. моторъ Гилля, Адама, Паукша, Шварцкопфа, Тайлора, Лальбена, Раго, Кертинга, Дидерихса, Перса и Фореста, Мартини, Саломона и Тентинга, Готендорфа, Ніэля и др. Часто эти моторы строятся такъ, что могутъ работать бензиновымъ или же водянымъ газомъ. Всѣ они описаны въ Etudes sur les moteurs à gaz tonnats par A. Witz.

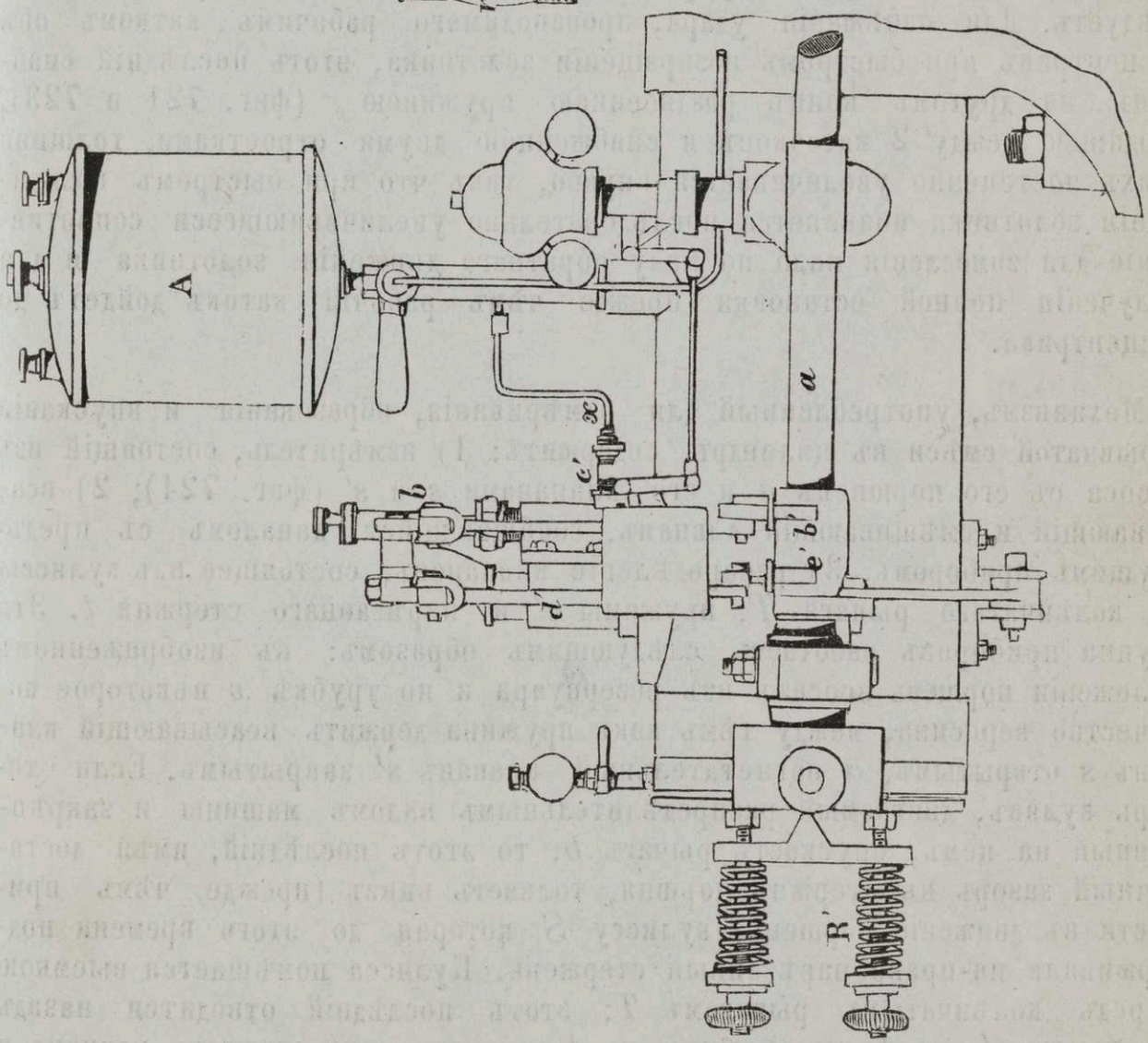
Керосиновая машина системы Шпиля (фиг. 719 до 724).

Какъ въ извѣстной газовой машинѣ Отто циклъ работы въ этомъ двигателѣ содержитъ 4 періода, изъ коихъ каждый совершается въ теченіе простаго хода поршня (стр. 624); такъ что имѣется только одинъ ходъ поршня, который будетъ дѣйствующій; въ теченіе же 3 другихъ фазисовъ вращенія маховикъ возвращаетъ энергію, которую онъ запасъ. Для полученія, при этихъ условіяхъ, равномѣрной работы, существенно прежде всего, чтобъ машина получала для каждаго взрыва смѣсь воздуха и карбурированнаго пара строго постоянную, и чтобъ взрывъ съ надежностію совершался въ желаемый моментъ вращенія. Движущимъ веществомъ служитъ керосиновая эссенція, извѣстная подъ именемъ газолина съ удѣльнымъ вѣсомъ 0,72. Она находится въ жидкомъ состояніи въ мѣдномъ пріемникѣ, помѣщенномъ надъ цилиндромъ машины. Для избѣжанія всякой опасности при перемѣщеніи этой эссенціи весьма летучей, пріемникъ соединенъ, помощію подъемныхъ трубъ, съ резервуаромъ, поставленнымъ по сосѣдству и снабженнымъ небольшимъ ручнымъ вращательнымъ насосомъ. Съ другой стороны керосиновый пріемникъ соединенъ съ впрыскивающимъ насосомъ, снабженнымъ смѣшивающимъ клапаномъ, который вводитъ горючій газъ въ цилиндръ. Другой клапанъ, помѣщенный сбоку на высотѣ горизонтальной оси машины, служитъ для выхода инертныхъ газовъ, получившихся отъ взрыва. Эти три главныя части приводятся въ движеніе кулаками, установленными на долевомъ валѣ, который получаетъ свое движеніе отъ движущей оси посредствомъ коническихъ шестеренекъ. Какъ указываютъ фиг. 719, 720 и 722, поршень a' впрыскивающаго насоса соединенъ съ рычагомъ b кулака b', форма коего такова, что постоянный объемъ керосина вводится въ цилиндръ въ періодъ всасыванія. Это введеніе совершается при посредствѣ кранта c', соединеннаго съ керосино-



фиг. 720.

фиг. 724.

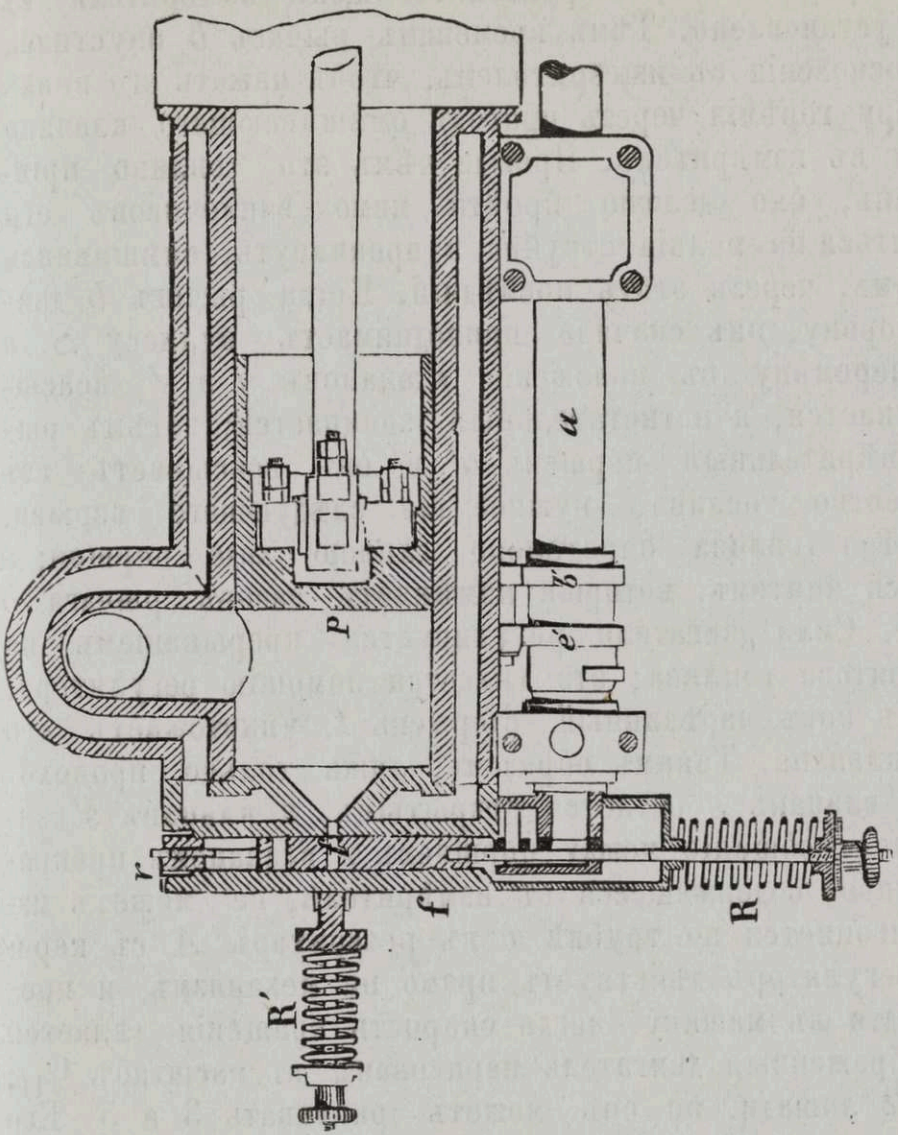


фиг. 719.

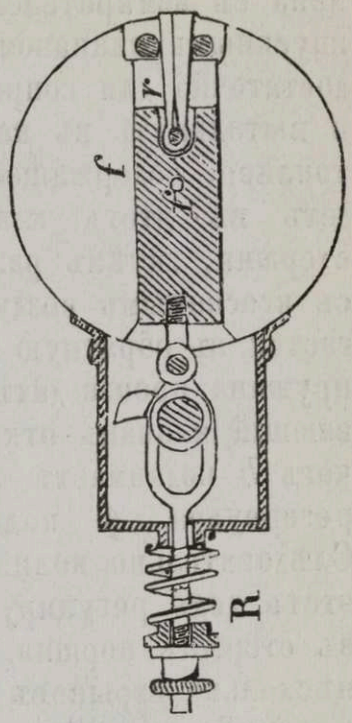
вымъ сосудомъ A трубкою x и съ насосомъ. Благодаря горлышку кранта c' истеченіе керосина на клапанъ возможно только тогда, когда трубка x

заперта и только количество керосина, впущеннаго въ насосъ, можетъ войти въ цилиндръ. Этотъ періодъ работы соотвѣтствуетъ $^1/_4$ оборота кулака; въ остальное время пробка кранта запираетъ каналъ и отдѣляетъ отверстіе трубки. Наконецъ для регулированія хода поршня смотря по потребной силѣ, онъ снабженъ гайкою, которая позволяетъ измѣнять его разстояніе отъ дна цилиндра и слѣдовательно объемъ керосина, впускаемаго при каждомъ двойномъ оборотѣ движущаго мотыля. Впускной клапанъ d, находящійся въ сторонѣ отъ насоса, движется помощію рычага d', тоже снабженнаго приспособленіемъ для регулированія по желанію подъема клапана и объема воздуха, впускаемаго трубкою e (фиг. 720), такъ чтобъ онъ былъ пропорціоналенъ количеству жидкаго топлива. Приборъ для запала состоитъ изъ золотника f, имѣющаго камеру f', которая заключаетъ небольшое количество взрывчатой смѣси и куда подставляется въ данный моментъ пламя постоянной горѣлки. Когда газъ, содержащійся въ горѣлкѣ золотника, загорѣлся отъ запальнаго пламени, то этотъ золотникъ быстро возвращается назадъ подъ дѣйствіемъ пружины R (фиг. 721 и 723). Это дѣйствіе осуществляется кулакомъ и воспроизводится столь скоро, что оно съ точностію опредѣляетъ воспламененіе взрывчатой смѣси, содержащейся въ цилиндрѣ. Если бы въ движеніи золотника произошло замедленіе, то внутреннее пламя потухнетъ и взрывъ не послѣдуетъ. Для избѣжанія удара, производимаго рабочимъ каткомъ объ эксцентрикъ при быстромъ возвращеніи золотника, этотъ послѣдній снабженъ на другомъ концѣ раздвоенною пружиною r (фиг. 721 и 723), входящею между 2 каточковъ и снабженною двумя отростками, толщина коихъ постепенно увеличивается вправо, такъ что при быстромъ возвращеніи золотника появляется послѣдовательно увеличивающееся сопротивленіе для замедленія мало по малу обратнаго движенія золотника и для полученія полной остановки прежде чѣмъ рабочій катокъ дойдетъ до эксцентрика.

Механизмъ, употребленный для отмѣриванія, образованія и впусканія взрывчатой смѣси въ цилиндръ, содержитъ: 1) измѣритель, состоящій изъ насоса съ его поршнемъ a и его клапанами s и s' (фиг. 724); 2) всасывающій и смѣшивающій клапанъ, сообщающійся каналомъ съ предъидущимъ приборомъ; 3) распредѣленіе клапановъ, состоящее изъ кулиссы S, колѣнчатаго рычага T, пружины r' и нарѣзаннаго стержня t. Эта группа приборовъ работаетъ слѣдующимъ образомъ: въ изображенномъ положеніи поршень всосалъ изъ резервуара и по трубкѣ x нѣкоторое количество керосина, между тѣмъ какъ пружина держитъ всасывающій клапанъ s открытымъ, a нагнетательный клапанъ s' закрытымъ. Если теперь кулакъ, двигаемый распредѣлительнымъ валомъ машины и закрѣпленный на немъ, опускаетъ рычагъ b, то этотъ послѣдній, имѣя достаточный зазоръ въ стержнѣ поршня, толкаетъ внизъ (прежде чѣмъ привести въ движеніе поршень) кулиссу S, которая до этого времени поддерживала на-право нарѣзанный стержень. Кулисса помѣщается выемкою передъ колѣнчатымъ рычагомъ T; этотъ послѣдній отводится назадъ пружиною r', нарѣзанный стержень t нажимаетъ на стержень клапана и черезъ него на клапаны s и s', которые вслѣдствіе упругости пружины, большей упругости въ другой пружинѣ, измѣняютъ положеніе; тогда клапанъ s закрытъ и клапанъ s' открытъ; тогда сообщеніе резервуара топ-

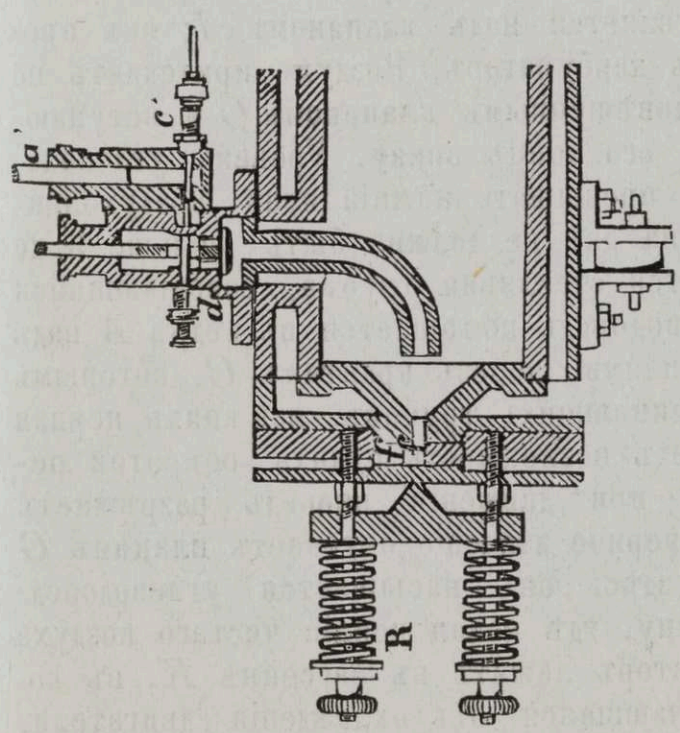


фиг. 721.

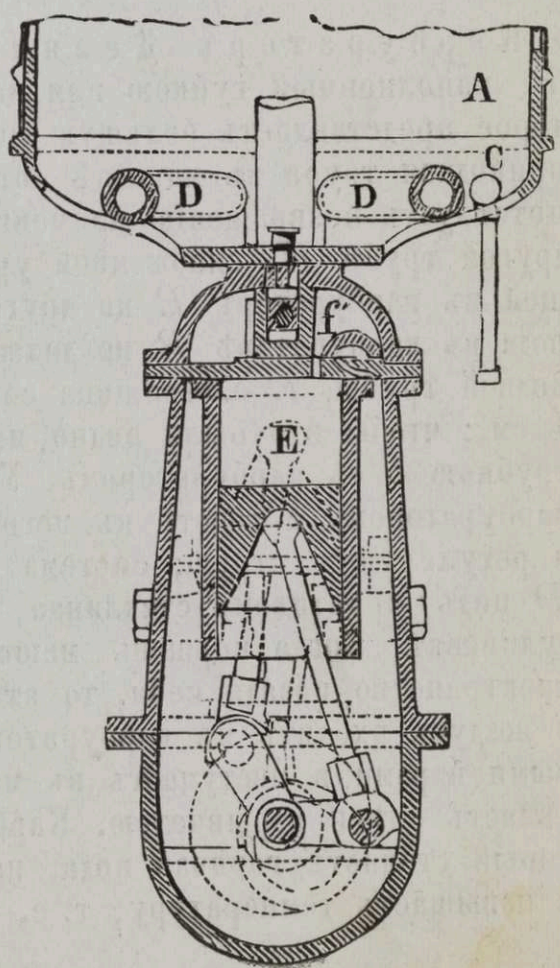


фиг. 723.

фиг. 725.



фиг. 722.



лива съ измѣрителемъ прерывается, напротивъ сообщеніе измѣрителя съ впускнымъ клапаномъ установлено. Тѣмъ временемъ рычагъ b опустился достаточно для соприкосновенія съ измѣрителемъ, чтобъ нажать его внизъ и вытолкнуть въ камеру горѣнія черезъ проходъ смѣшивающаго клапана топливо, содержащееся въ измѣрителѣ. Прежде чѣмъ это топливо прійдетъ въ этотъ клапанъ, оно должно пройти мимо заплечиковъ его стержня, затѣмъ разбиться на мелкія струйки и проникнуть, смѣшиваясь съ всосаннымъ воздухомъ, черезъ этотъ послѣдній. Когда рычагъ b двигается въ обратную сторону, онъ сначала приподнимаетъ кулиссу S, а пружина производитъ перемѣну въ положеніи клапановъ s и s'; всасывающій клапанъ открывается, а нагнетательный запирается; затѣмъ рычагъ b поднимаетъ измѣрительный поршень a' и онъ всасываетъ изъ резервуара A количество топлива, нужное для слѣдующаго взрыва. Слѣдовательно количество топлива опредѣлено длиною хода поршня; а этотъ ходъ регулируется винтомъ, который измѣняетъ зазоръ рычага b въ стержнѣ поршня a'. Сила двигателя регулируется прерываніемъ на нѣсколько взрывовъ притока топлива; это дѣлается помощію регулятора, который, перемѣщая въ бокъ нарѣзанный стержень t, уничтожаетъ его дѣйствіе на стержень клапана. Такимъ образомъ, лишь только происходитъ это перемѣщеніе, клапанъ s остается открытымъ, а клапанъ s' закрытымъ; слѣдовательно сообщеніе между поршнемъ и клапаномъ прекращается, такъ что топливо, содержащееся въ измѣрителѣ, не можетъ изливаться, а потому выгоняется по трубкѣ x въ резервуаръ A съ керосиномъ. Какъ видно, регуляторъ дѣйствуетъ прямо на механизмъ и препятствуетъ жидкости идти въ машину, когда скорость вращенія дѣлается слишкомъ велика. Изображенный двигатель нарисованъ въ масштабѣ $^1/_{11}$; его номинальная сила 2 лошади, но онъ можетъ развивать 3 и 5. Его скорость около 220 оборотовъ въ минуту и его вѣсъ 1310 клгр.

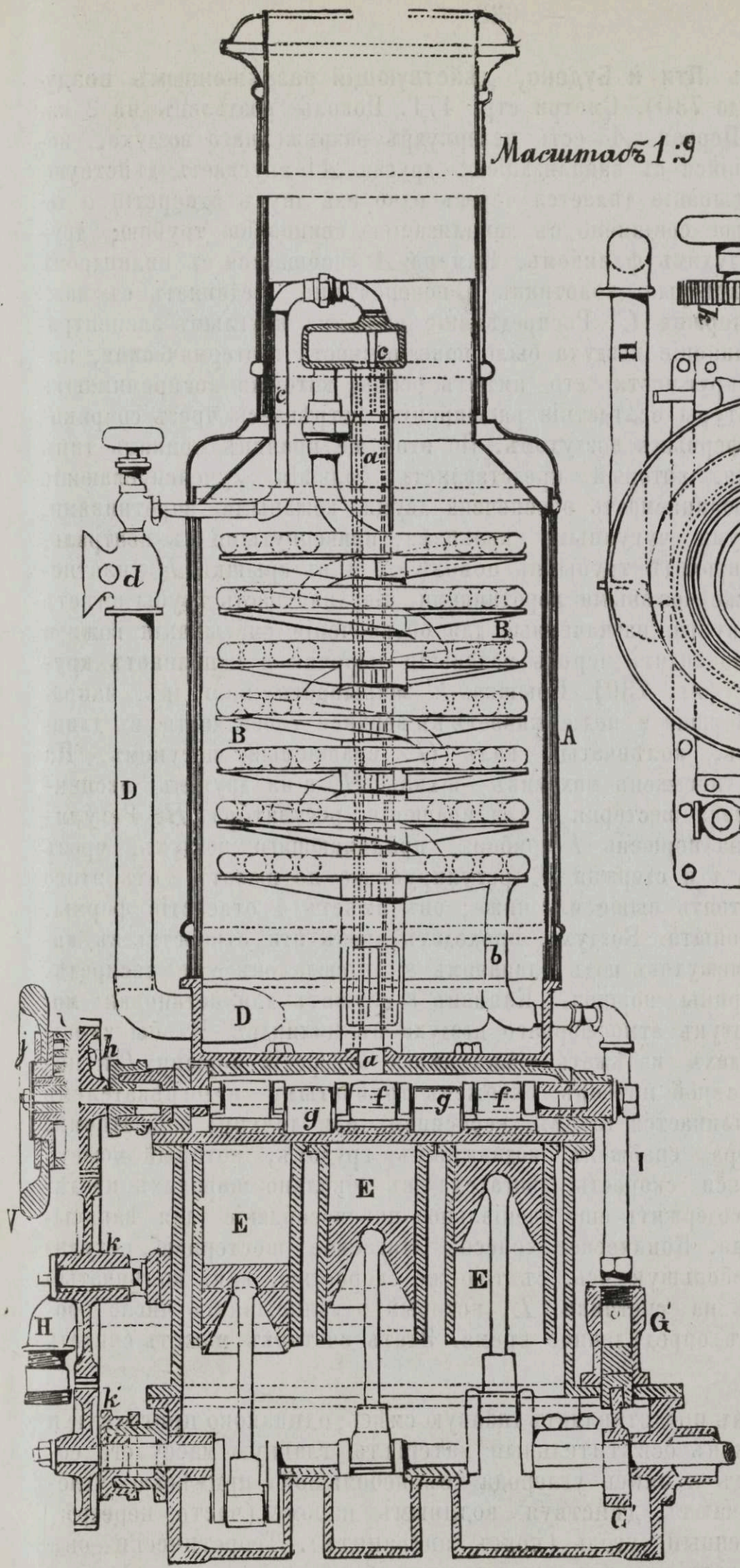
Карбураторъ Делямара (стр. 629) есть лежачій цилиндръ B, наполненный губкою или какимъ нибудь пористымъ веществомъ, которое представляетъ большую поверхность для испаренія газолина. Газоприводная труба къ машинѣ отвѣтвляется надъ клапаномъ I; онъ препятствуетъ возвращенію пламени въ карбураторъ. Воздухъ притекаетъ по другой трубѣ H, снабженной уравновѣшеннымъ клапаномъ G и вступающей въ карбураторъ B на другомъ его концѣ внизу. Уровень углеводорода въ карбураторѣ B не долженъ превышать нижній край воздухоприводной трубы, т. е. толщина слоя на днѣ не должна быть больше 3 до 4 см.; чтобы это было видно, имѣется стекляная трубка, сообщающаяся трубкою b съ карбураторомъ. Углеводородъ помѣщается въ ведрѣ A надъ карбураторомъ и течетъ въ него каплями черезъ крантикъ C, которымъ и регулируютъ струю; система соединяющихъ трубокъ, изъ коихъ первая D подъ крантикомъ стекляная, даетъ возможность судить объ этой регулировкѣ. Когда поршень машины при движеніи впередъ разрѣжаетъ пространство позади себя, то атмосферное давленіе опускаетъ клапанъ G и воздухъ входитъ въ карбураторъ; здѣсь онъ насыщается углеводородными парами и поступаетъ въ машину, гдѣ новая порція чистаго воздуха дѣлаетъ смѣсь взрывчатою. Карбураторъ лежитъ въ бассейнѣ K, въ который стекаетъ горячая вода, получающаяся отъ охлажденія двигателя, и повышаетъ температуру, т. е. способствуетъ испаренію углеводородовъ;

вслѣдствіе этого газолинъ испаряется весь безъ остатка. Существенные и новые пункты этого карбуратора суть: 1) болѣе или менѣе полное насыщеніе воздуха чрезъ непосредственное всасываніе машиною и 2) непрерывное теченіе жидкости въ карбураторъ, смотря по потребности.

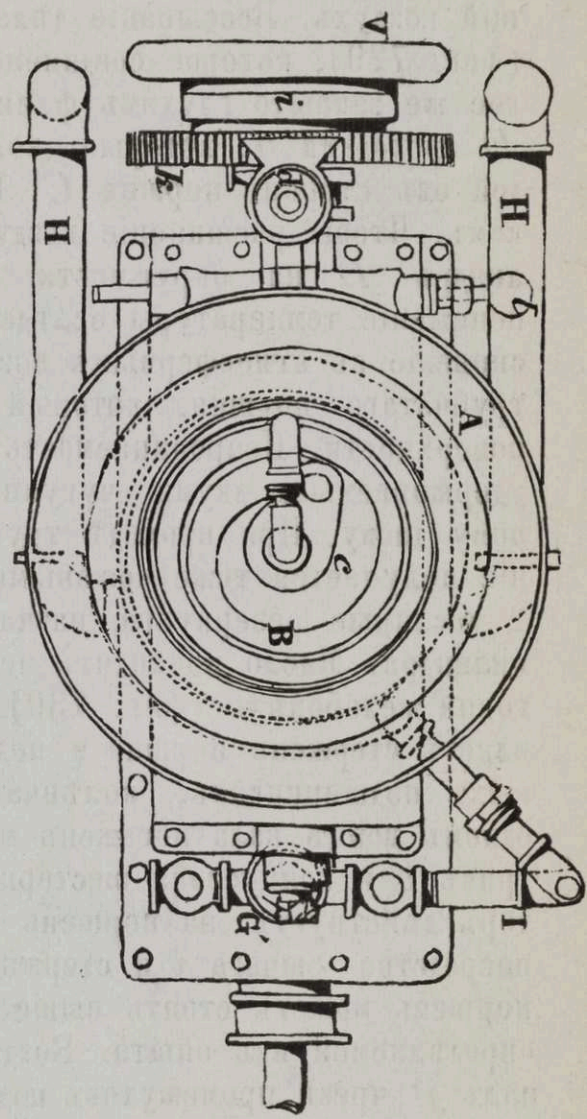
215. Паро-керосиновый двигатель Квильфельда (фиг. 725 до 727) назначался спеціально для небольшихъ пароходовъ, хотя можетъ служить для всякой другой цѣли. Отличительная черта этой машины состоитъ въ томъ, что она утилизируетъ не керосинъ, обращенный въ газъ, подобно двигателямъ съ расширяющимся воздухомъ, но керосинъ въ состояніи пара, получаемаго подобно водяному пару при помощи особаго генератора, образующаго существенную часть двигателя, который имѣетъ 3 цилиндра параллельные каждый простаго дѣйствія. Двигатель состоитъ изъ прямоугольнаго чугуннаго основанія, внутри коего собранъ трехколѣнный валъ (винта), соединенный шатунами съ поршнями трехъ цилиндровъ E; они укрѣплены на доскѣ, снабженной впускными и выходными окнами (фиг. 727); керосиновый паръ распредѣляется золотниками f, прилаженными на зеркалѣ этой же самой доски. На движущемъ валѣ укрѣпленъ еще эксцентрикъ G, который двигаетъ поршень керосиноваго насоса G; а на другомъ концѣ вала шестерня k^1, которая при посредствѣ колесъ k и h двигаетъ стержень распредѣлительныхъ золотниковъ f. Мотыли движущихъ поршней заклинены подъ 120^0 одни къ другимъ, дабы избѣжать мертвыхъ точекъ; тоже самое и для маленькихъ колѣнъ g стержня золотниковъ; но послѣдніе имѣютъ небольшое опереженіе относительно мотылей, дабы обезпечить свободный выходъ и задержать въ цилиндрахъ небольшой объемъ пара для уничтоженія ударовъ поршней. Колѣнчатый валъ и стержень золотниковъ параллельны; поэтому перемѣщеніе этихъ послѣднихъ перпендикулярно къ движенію поршней и къ направленію двухъ осей, что позволяетъ получить сравнительно большой и быстрый ходъ золотниковъ при концѣ хода поршней, т. е. въ моментъ, когда перемѣщеніе послѣднихъ небольшое и медленное. Такимъ способомъ получаютъ быстроту открыванія и запиранія выпускнаго канала, который открывается (какъ видно на фиг. 727) во внутрь основанія, т. е. въ коробку-оболочку. Для пусканія въ ходъ, а также для измѣненія направленія движенія, передаточное колесо h стержня золотниковъ сдѣлано холостое и имѣетъ сегментъ, расположенный такимъ образомъ, что онъ можетъ входить и скользить въ круглой канавкѣ, продѣланной въ колесѣ i, втулка коего укрѣплена на валѣ. Болтъ, укрѣпленный въ сегментѣ, получаетъ холостую шестерню, которая зацѣпляется разомъ съ зубчатымъ секторомъ на колесѣ i и съ центральною шестернею, которая можетъ свободно вращаться на втулкѣ сказаннаго колеса. Наконецъ на втулкѣ шестерни надѣтъ маховичекъ V, деревянный ободъ коего укрѣпленъ помощію винта и металлическаго кольца къ центральному металлическому диску, который и соединяетъ его съ втулкою шестерни. Для сего дискъ снабженъ спиральною пружиною, нажимаемою кружочкомъ j, на который она дѣйствуетъ и нажимаетъ его къ деревянному кольцу маховичка для того, чтобы въ назначенное время колеса вращались такъ, какъ будто они составляютъ одно цѣлое съ стержнемъ золотниковъ, но это движеніе легко останавливать, дѣйствуя на ободъ маховичка. Въ первомъ случаѣ золотники даютъ передній ходъ; но если желаемъ остановить или обратить движеніе, то достаточно помощію

маховичка привести сегментъ на средину канавки, и машина останавливается, или лучше перевести его на противоположный конецъ, и золотники двигаются въ обратную сторону, такъ же, какъ и машина. Корпусъ нефтянаго насоса G^1, какъ видно на фиг. 726, имѣетъ два патрубка діаметрально противоположные и снабженные коробками, содержащими клапаны всасывающій и нагнетательный. Къ этимъ коробкамъ примыкаютъ двѣ трубы; одна отъ нефтянаго резервуара, другая I соединяетъ насосъ трубкою b съ змѣевикомъ B, заключеннымъ въ цилиндрической оболочкѣ A; послѣдняя продолжена вверхъ въ видѣ дымовой трубы высотою 0,610 м. для выхода газа, образующагося отъ горѣнія въ горѣлкѣ. Верхній конецъ змѣевика открытъ въ коробку c, насаженную на центральную трубу (съ внутренней трубкой), которая при своемъ основаніи сообщается отверстіемъ a съ золотничною коробкою g, такъ что коробка питается керосиномъ, обращеннымъ въ паръ при его проходѣ черезъ змѣевикъ. Для этого запальникъ D, расположенный подъ змѣевикомъ, сообщенъ трубою D^1 съ инжекторомъ d, имѣющимъ регулирующую иглу, а также клапанъ для всасыванія воздуха, нужнаго для горѣнія газообразнаго керосина; послѣдній притекаетъ по трубочкѣ c^1, насаженной на коробкѣ c. Что касается до горѣлки, то она состоитъ просто изъ кольцевой трубы, сверху снабженной дырочками, чрезъ которыя пламя выдѣляется для нагрѣванія змѣевика и другихъ частей прибора.

Чтобы пустить машину въ ходъ, начинаютъ помощію двухъ небольшихъ независимыхъ ручныхъ насосовъ одного воздушнаго, другаго керосиноваго, вводить въ маленькую горѣлку C (фиг. 727), помѣщенную въ сторонѣ отъ D, смѣсь воздуха и пара, которую зажигаютъ простою спичкою. Продолжаютъ нѣсколько мгновеній эту работу, чтобъ ввести въ змѣевикъ—генераторъ B немножко керосина; керосинъ, встрѣчая стѣнки, нагрѣтыя горѣлкою, обращается въ паръ и раздѣляется на двѣ части: одна болѣе легкая идетъ для питанія большой горѣлки D, которая образуетъ топку генератора, а другая болѣе тяжелая опускается въ золотничную коробку черезъ отверстіе a и, распредѣлясь золотниками q, дѣйствуетъ въ цилиндрахъ E на поршни; послѣдніе передаютъ движеніе помощію шатуновъ винтовому валу. Керосиновый паръ послѣ утилизированія его въ видѣ движущаго вещества выдѣляется въ коробку, образующую основаніе, по трубамъ H, соединеннымъ съ другими трубами, проходящими вдоль пароходнаго киля, и въ нихъ сгущается. Эти трубы сообщаются съ резервуаромъ, помѣщеннымъ на носу, откуда керосинъ забирается питательнымъ насосомъ G и снова накачивается въ змѣевикъ генераторъ B. Такъ что машина, разъ она на ходу, питается автоматически безъ участія машиниста, который долженъ только поддерживать ровный ходъ. Количество теплоты, нужное для пусканія въ ходъ, столь незначительно, что достаточно 3 или 4 минутъ для того, чтобы машина начала работать. Что касается до расхода, то онъ бываетъ 4,5 и 6,7 метровъ въ часъ для машинъ въ 2 и 4 лошади. Кромѣ того выгода малаго объема и большой простоты; переобразованіе и сгущеніе совершаются быстрѣе, чѣмъ для воды; поэтому нужна очень малая площадь нагрѣва для полученія большаго объема пара, чѣмъ и объясняются малые размѣры парообразователя. Эти машины строитъ Ярровъ въ Лондонѣ, Кайль въ Парижѣ, Эшеръ Виссъ въ Цюрихѣ спеціально для небольшихъ пароходовъ.



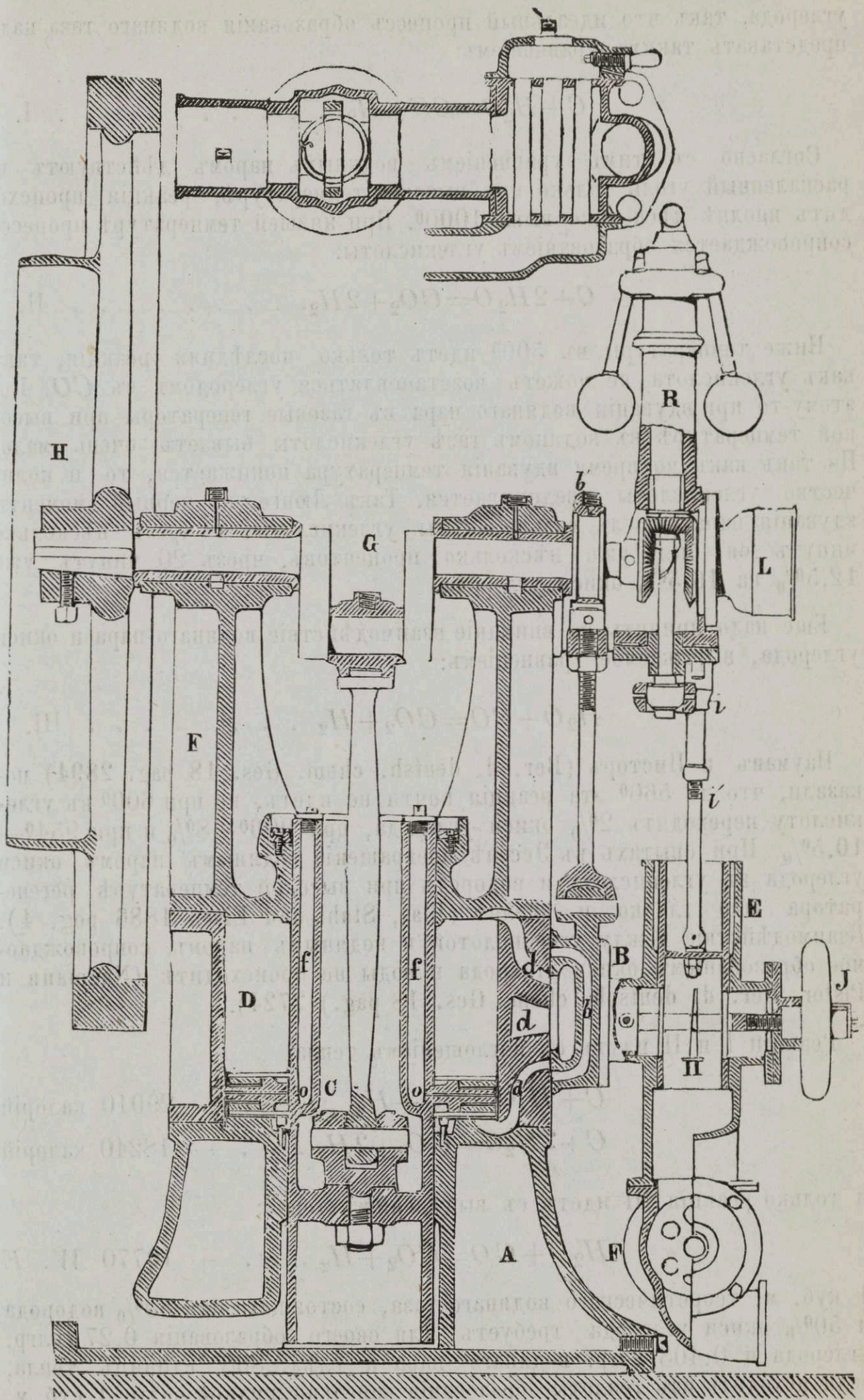
фиг. 726.



фиг. 727.

216. Двигатель Пти и Будено, дѣйствующій разрѣженнымъ воздухомъ (фиг. 728 до 730). Смотри стр. 471. Цоколь раздѣленъ на 2 камеры A и A^1. Первая A есть резервуаръ разрѣженнаго воздуха, постоянно сообщающійся съ канализаціею; другая A^1 впускаетъ дѣйствующій воздухъ. Всасываніе дѣлается черезъ одно изъ двухъ отверстій a a^1 (фиг. 729), которое соединено съ канализаціею свинцовою трубою; другое же закрыто глухимъ флянцемъ. Камера A сообщается съ цилиндромъ D проходами d, которые золотникъ b поперемѣнно соединяетъ съ каждой изъ сторонъ поршня C. Распредѣленіе дѣлается круглымъ эксцентрикомъ. Чтобы расширеніе воздуха было повозможности изотермическое, цилиндръ D на окружности его имѣетъ ребра, которыя воспринимаютъ пониженіе температуры вслѣдствіе расширенія, нагрѣваясь чрезъ соприкосновеніе съ атмосфернымъ воздухомъ. По этой же причинѣ принятъ типъ трубчатаго поршня, который представляетъ большія лучеиспускающія поверхности. Непроницаемость обезпечена двумя кожаными воротниками, удерживаемыми двумя чугунными кольцами, привернутыми къ центральному диску. При проходѣ трубы въ цоколѣ A и въ крышкѣ F уплотненіе получается тоже кожаными воротниками. Верхняя часть трубы имѣетъ 2 масляные резервуара, назначенные для обезпеченія смазыванія кожи и цилиндра. Масло проходитъ черезъ маленькія дырочки и наполняетъ круговой желобокъ o (фиг. 730). Крышка F закрываетъ цилиндръ, направляетъ стержень поршня и поддерживаетъ въ верхней своей части, въ длинныхъ подшипникахъ, колѣнчатый валъ G, вращаемый шатуномъ. На одномъ концѣ вала посаженъ маховикъ—шхивъ H, а на другомъ эксцентрикъ b и коническая шестерня j для вращенія регулятора B. Регуляторъ дѣйствуетъ на поршень I прибора, принимающаго воздухъ, чрезъ посредство рычага i и стержня i^1, регулируемаго по высотѣ; отъ этого поршень можетъ стоять выше или ниже; онъ имѣетъ 4 отверстія формы, опредѣляемой изъ опыта. Воздухъ проходитъ чрезъ эти отверстія въ каналъ j^1 чрезъ промежутокъ подъ клапаномъ s; отсюда онъ уже распредѣляется на обѣ стороны поршня. Клапанъ s служитъ для остановки мотора, прерывая доступъ атмосфернаго воздуха въ цилиндръ. Чтобы зимою при сильныхъ холодахъ избѣжать обледенѣнія отверстій поршня I и цилиндра, воздуховпускной приборъ снабженъ трубчатымъ подогрѣвателемъ E^1, который отапливается газомъ, керосиномъ или другимъ веществомъ. Рычагъ i регулятора снабженъ подвижнымъ грузомъ, который можетъ заставить измѣняться скорость двигателя въ довольно широкихъ предѣлахъ. Регуляторъ содержитъ еще спеціальное приспособленіе для записыванія хода двигателя. Коническое колесо, двигаемое шестернею регулятора, вращаетъ небольшую ось, съ тою же скоростью, какъ колѣнчатый валъ, и дѣйствуетъ на счетчикъ L, который и записываетъ число оборотовъ маховика въ опредѣленное время. Этотъ счетчикъ можетъ считать до 2 милліоновъ.

217. Водяной газъ представляетъ газовую смѣсь, одинаково пригодную и какъ топливо, и какъ освѣтительный матеріалъ; главную массу его составляютъ водородъ и окись углерода съ небольшой примѣсью углекислоты; его получаютъ, дѣйствуя водянымъ паромъ (часто перегрѣтымъ) на раскаленный уголь (коксъ, антрацитъ). Теоретически онъ долженъ-бы былъ состоять изъ одинаковыхъ объемовъ водорода и окиси



фиг. 728—730.

углерода, такъ что идеальный процессъ образованія водянаго газа надо представать такимъ уравненіемъ:

$$C+H_2O=CO+H_2 \ldots\ldots\ldots\ldots \text{I.}$$

Согласно съ этимъ уравненіемъ водянымъ паромъ дѣйствуютъ на раскаленный уголь только при высокой температурѣ, реакція происходитъ вполнѣ нѣсколько выше 1000°. При низшей температурѣ процессъ сопровождается образованіемъ углекислоты:

$$C+2H_2O=CO_2+2H_2 \ldots\ldots\ldots\ldots \text{II.}$$

Ниже температуры въ 500° идетъ только послѣдняя реакція, такъ какъ углекислота не можетъ возстановляться углеродомъ въ CO. Поэтому-то при вдуваніи водянаго пара въ газовые генераторы при высокой температурѣ въ водяномъ газѣ углекислоты бываетъ очень мало. Но такъ какъ во время вдуванія температура понижается, то и количество углекислоты увеличивается. Такъ Люнге въ первый моментъ вдуванія пара нашелъ только слѣды углекислоты, а чрезъ нѣсколько минутъ ея было уже нѣсколько процентовъ, чрезъ 20 минутъ уже 12.5% на 16.5% окиси углерода.

Еще надо принять во вниманіе взаимодѣйствіе водянаго пара и окиси углерода, выражаемое уравненіемъ:

$$H_2O+CO=CO_2+H_2 \ldots\ldots\ldots\ldots \text{III.}$$

Науманъ и Писторъ (Ber. d. deutsh. chem. Ges. 18 pag. 2894) показали, что до 560° эта реакція почти не идетъ, но при 600° въ углекислоту переходитъ 2% окиси углерода, при 900°—8% и при 954°—10.5%. При опытахъ въ Эссенѣ превращеніе водянымъ паромъ окиси углерода въ углекислоту и водородъ при высокой температурѣ регенератора шло гладко и вполнѣ (Blas, Stahl und Eisen 1886 pog. 4). Взаимодѣйствіе между углекислотой и водянымъ паромъ, сопровождаемое образованіемъ окиси углерода и воды не происходитъ (Naumann и Pistor, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 18 pag.) 2724).

Реакціи I и II идутъ съ поглощеніемъ тепла:

$$C+H_2O=CO+H_2 \ldots\ldots -\ 29010 \text{ калорій}$$
$$C+2H_2O=CO_2+2H_2 \ldots -\ 18240 \text{ калорій}$$

и только реакція III идетъ съ выдѣленіемъ тепла:

$$H_2O+CO=CO_2+H_2 \ldots +\ 10770\ W.\ E$$

1 куб. м. теоретическаго водянаго газа, состоящаго изъ 50% водорода и 50% окиси углерода требуетъ для своего образованія 0.27 клгр. углерода и 0.403 клгр. водянаго пара и слѣд. 868 единицъ тепла, если исходить изъ теплоты образованія капельно жидкой воды 1 куб. м. этого водянаго газа при сгораніи выдѣляетъ 2797 единицъ тепла.

При дѣйствіи водянаго пара на углеводороды при соотвѣтственно высокой температурѣ получается также водяной газъ, при чемъ опять при высшей температурѣ получается больше окиси углерода, а при низшей больше углекислоты.

Кромѣ названныхъ уже составныхъ частей водяной газъ содержитъ еще незначительныя и измѣняющіяся количества азота, сѣроводорода, углеводородовъ, а по Бласу (Stahl und Eisen 1886 pag. 7) даже водородистаго кремнія (слѣды). По Бунте присутствуетъ также хлористый кремній (Lunge, chem. Ind. 1887 pag. 178). Уже въ началѣ этого столѣтія для полученія свѣтильнаго газа, водорода и пр. пытались воспользоваться тѣмъ, что при пропусканіи водянаго пара надъ раскаленнымъ углемъ получается смѣсь водорода, окиси углерода и углекислоты. До тѣхъ поръ, пока операція производилась такимъ образомъ, что накаливали древесный уголь, коксъ, антрацитъ и пр. въ стоячихъ или лежачихъ ретортахъ особой наружной топкой, полученіе водянаго газа, въ противоположность свѣтильному, было невыгодно *). Полученіе водянаго газа стало возможно на практикѣ только тогда, когда реторты замѣнили шахтными печами, въ которыхъ накаливаютъ уголь при вдуваніи воздуха, токъ котораго затѣмъ прекращали и замѣняютъ токомъ водянаго пара. Какъ только температура понижается до того, что водяной газъ начинаетъ получаться въ маломъ количествѣ, притокъ пара прекращаютъ, для разогрѣва опять пускаютъ воздухъ и т. д.

При вдуваніи воздуха получается обыкновенный генераторный газъ (газъ Сименса), и для генератора водянаго газа характерно то, что съ нимъ поперемѣнно можно получать водяной газъ и обыкновенный генераторный.

Въ Америкѣ, гдѣ антрацитъ встрѣчается въ большихъ кускахъ и въ очень чистомъ видѣ, онъ-то и употребляется главнымъ образомъ для полученія водянаго газа. Вслѣдствіе незначительнаго содержанія въ немъ

---

*) Обстоятельное описаніе этихъ старыхъ способовъ можно найти въ сочиненіи Ferd. Fischer'a: „Wassergas verglichen mit Leuchtgas und Generatorgas". Zeitschr f. d. chem. Ind. 1887 II pag. 157.

Процессъ Жилляра. Фиг. 700—702. При немъ газъ получается изъ воды посредствомъ древеснаго угля, доведеннаго до краснаго каленія въ чугунныхъ ретортахъ *A*, вмазанныхъ въ печи, которыя почти не отличаются отъ печей въ газовыхъ заводахъ. Въ головѣ каждой реторты укрѣплена часть *a*, раздѣленная на 2 вѣтви; въ нихъ ввинчены желѣзныя трубки *a*, закрытыя на ихъ концѣ, который доходитъ почти до дна реторты. Часть *a* имѣетъ каналъ діаметромъ въ 15 мм. и помощію мѣдной трубки *b* сообщается съ паровикомъ. Слѣдовательно каждая реторта снабжена двумя трубками *a* и на каждой трубкѣ просверлено на 1,10 м. отъ закрытаго конца 65 дырокъ, направленныхъ внизъ и расположенныхъ въ 3 ряда чрезъ 10 мм. Въ дырки вставлены пробки изъ обожженой глины съ отверстіями въ 0,5 мм., которыя служатъ для прохода пара. На плоскую часть реторты накладывается слой угля 10 до 15 сантим. толщиною, (20 до 25 клгр.), который надо мѣнять черезъ 4 часа. Когда уголь раскалился, впускаютъ въ трубки *a* черезъ трубку *b* паръ при 4 или 5 атм., который выходитъ тонкими струйками на поверхность раскаленнаго угля, гдѣ немедленно и происходитъ разложеніе. Получается смѣсь пара, водорода и углекислоты, которую надо поскорѣе удалить изъ реторты во избѣжаніе образованія окиси углерода. Эта смѣсь вводится въ холодильникъ, гдѣ паръ сгущается, а газъ остываетъ. Остается смѣсь водорода и углекислоты; послѣдняя удаляется въ очистителяхъ и въ газометръ поступаетъ почти чистый водородъ. Таковъ былъ первоначальный способъ добыванія газа для освѣщенія Нарбонны, но по причинѣ дороговизны онъ былъ замѣненъ другимъ.

золы онъ почти совсѣмъ не даетъ пыли и шлаковъ, что имѣетъ большое значеніе по отношенію къ прочности генераторовъ. Потому тамъ водяной газъ приготовляется въ большомъ количествѣ, какъ освѣтительный матеріалъ. Свѣтимость его пламени сообщаютъ карбурированіемъ, т. е. примѣшиваніемъ легко летучихъ углеводородовъ. Въ аппаратахъ, работающихъ по способу Ловъ (напр. въ аппаратѣ фирмы Грангеръ и К⁰ въ Филадельфіи, Blas, Stahl и Eisen 1886, Blatt I), генераторъ снабженъ рѣшеткой, на которой лежитъ антрацитъ и подъ которую поступаетъ вдуваемый воздухъ для полученія необходимой температуры и генераторнаго газа. Послѣдній сожигаютъ верхней струей воздуха и нагрѣваютъ имъ регенераторъ, или перегрѣватель, соединенный съ генераторомъ. Когда антрацитъ достаточно накаленъ, что, смотря по давленію струи воздуха и высотѣ угольнаго слоя достигается чрезъ 10 до 15 минутъ, притокъ воздуха прекращаютъ, закрываютъ дымовой клапанъ регенератора и вдуваютъ въ пространство подъ рѣшеткой водяной паръ.

Водяной газъ переходитъ въ регенераторъ и смѣшивается здѣсь съ нефтяными остатками, нефтью или другими углеводородами, впускаемыми въ соединительное пространство между генераторомъ и перегрѣвателемъ. Въ послѣднемъ эти углеводороды подъ вліяніемъ высокой температуры претерпѣваютъ диссоціацію, вслѣдствіе которой увеличивается ихъ освѣтительная способность, между тѣмъ какъ углекислота и избытокъ водянаго пара съ частью углеводородовъ даютъ окись углерода и водородъ. На этомъ основаніи водяной газъ, выходящій изъ генератора, содержитъ меньше углекислоты, а слѣд. и является возможность дольше вдувать водяной паръ. По выходѣ изъ генератора карбурированный водяной газъ проходитъ еще чрезъ трубчатый конденсаторъ и скрубберъ и наконецъ въ газометръ. Почти въ томъ-же состоятъ и способы Тэссье-дю-Мотей и Штронга. По даннымъ Андреа (см. ниже) изъ 1 клгр. антрацита и 1 клгр. нефти получается 1 куб. м. свѣтильнаго газа съ вдвое большею освѣтительною способностью, чѣмъ обыкновенный каменноугольный газъ. Этотъ свѣтильный газъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что легко коптитъ и при охлажденіи выдѣляетъ часть примѣшанныхъ углеводородовъ.

Аппараты, употребляемые для полученія водянаго газа въ Европѣ, имѣютъ въ основаніи ту-же идею, но устраиваются нѣсколько иначе. Водяной газъ здѣсь употребляется большею частью, въ видѣ топлива, а не какъ освѣтительный матеріалъ; если-же онъ служитъ свѣтильнымъ газомъ, то свѣтимость сообщаютъ ему не карбурированіемъ, а иными способами (напр. способъ Фанеельма, см. ниже). Въ Европѣ антрацитъ уже не встрѣчается въ такихъ большихъ массахъ и въ такомъ чистомъ видѣ, какъ въ Америкѣ, а потому употребляютъ также коксъ, газовый коксъ и др. Эти матеріалы содержатъ золы гораздо больше, чѣмъ американскій антрацитъ, ея часто бываетъ отъ 15 до 20% и болѣе. Вслѣдствіе этого генераторъ долженъ быть устроенъ такимъ образомъ, чтобы легко можно было удалять большія массы шлаковъ, и тѣмъ самымъ предохранить его отъ порчи. Обыкновенно онъ дѣлается безъ рѣшетки, но нижнее пространство генератора, подверженное вліянію наивысшей температуры и разрушающему дѣйствію шлаковъ, охлаждается водою. Подъ этимъ водянымъ кольцомъ опустившееся внизъ топливо образуетъ конусъ, такъ что между нимъ и стѣнками генератора остается свободное кольцевое пространство,

въ которое и впускаютъ струю воздуха. На конической покатой поверхности горючаго матеріала шлаки образуютъ покрышку, достигающую водянаго кольца, и удаляются оттуда чрезъ четыре дверцы съ запорами Мортона. Водяной паръ вводятъ въ генераторъ сверху. Къ генератору часто присоединяютъ регенераторъ, служащій для перегрѣванія пара. Въ аппаратахъ фирмы Шульца, Кнаудта и К⁰ въ Эссенѣ при употребленіи коксовой мелочи, какъ горючаго матеріала (съ 25% золы), стѣнки регенератора разрушались пылью до того, что приходилось нагрѣвать регенераторъ не выше 500⁰. При этомъ перегрѣваніе водянаго пара почти не требуетъ лишняго расхода горючаго матеріала.

Вслѣдствіе значительнаго сопротивленія проникновенію струи воздуха чрезъ коксъ (въ противоположность антрациту, употребляемому въ кускахъ величиною съ яйцо), а также вслѣдствіе большой толщины слоя горючаго матеріала, давленіе воздуха въ этихъ аппаратахъ очень велико. Такъ какъ воздухъ вдуваютъ въ то-же кольцеобразное пространство генератора, чрезъ которое выходитъ водяной газъ, то во избѣжаніе впусканія воздуха въ очиститель или газометръ, или водянаго газа въ воздушный проводъ (въ обоихъ случаяхъ образуется взрывчатая смѣсь) необходимо устроить особый запоръ (Zeitschr. f. d. hem. Ind. 1887, II стр. 158).

Приборъ Шульца, Кнаудта и К⁰ (фиг. 731, 732 и 704) емкостію 10 куб. м. для полученія 500 куб. м. въ часъ (масштабъ 1: 100). Онъ состоитъ изъ 2 генераторовъ A и A', въ которыхъ собственно производится водяной газъ, изъ коксоваго скруббера B, гдѣ онъ оставляетъ увлеченныя примѣси и изъ пыльника C, поставленнаго на пути генераторнаго газа, чтобъ его очистить предъ употребленіемъ; затѣмъ къ этимъ приборамъ присоединены холодильникъ, очистительные чаны и газометръ.

Генераторъ состоитъ изъ огнеупорной шахты, одѣтой толстымъ листовымъ желѣзомъ; книзу шахта съужена, а дно ея образуетъ горнъ съ отверстіемъ a (служащимъ глядя по установу распредѣлительнаго золотника e либо для выхода приготовленнаго водянаго газа, либо для подведенія вдуваемаго воздуха), а наверху она имѣетъ 3 отверстія: 1) центральное c для нагрузки топлива; 2) боковое d для впуска водянаго пара; 3) большое отверстіе e для выхода генераторнаго газа. Воздухъ вдувается чрезъ трубу $Д$, трубу E, золотникъ e и отверстіе a; въ этомъ же уровнѣ помѣщено водяное кольцо a; на самомъ днѣ находятся 4 дверцы p; чистка дѣлается чрезъ 6 часовъ и требуетъ 15 до 30 минутъ.

Какъ сказано, въ этомъ приборѣ можно приготовлять либо генераторный, либо водяной газъ; но необходимо, чтобы проводы для одного какого либо изъ этихъ газовъ были заперты при производствѣ другаго газа и обратно. Слѣдовательно нужно, чтобы механизмъ открыванія и замыканія этихъ проводовъ былъ такъ устроенъ, чтобъ былъ невозможенъ доступъ атмосфернаго воздуха въ то время, когда отверстія даютъ проходъ водороду и окиси углерода, ибо въ этомъ случаѣ могъ бы произойти взрывъ. Чтобы избѣжать всякой ошибки при маневрированіи и сдѣлать эту причину несчастія невозможною, Блассъ изобрѣлъ гидравлическій распредѣлительный золотникъ e (фиг. 731 и 704), управляемый однимъ рабочимъ, который помѣщается на рабочей платформѣ P, такъ что когда имѣется открываніе для производства водянаго газа, то въ тотъ же мо-

ментъ происходитъ запираніе производства и выхода генераторнаго газа и обратно. Такъ напримѣръ при полученіи водянаго газа золотникъ *в* находится въ положеніи фиг. 704 (на стр. 631 внизу), гдѣ видно, что его внутренній проходъ сообщается каналомъ *f* съ выходнымъ патрубкомъ *F*, который направляетъ газъ по трубѣ *F'* въ нижнюю часть скруббера *B*; въ то же время открытъ крантъ *d'*, дающій доступъ водяному пару въ верхнюю часть чрезъ отверстіе *d*. Помощію обратнаго маневра полученіе водянаго газа прерывается, золотникъ *в* перемѣщается и его внутренній проходъ соединяетъ отверстіе *a* черезъ каналъ *e'* съ трубою *E* и воздухопроводомъ *Д*; въ то же время открывается вентиль, который запиралъ сказанную трубу. Этотъ двойной маневръ воспроизводится дѣйствіемъ на ручку маховика *G* помощію коническихъ колесъ *g*, которыя вращаютъ горизонтальную ось—*f'*; эта ось, помощію рычаговъ—кривошиповъ, управляетъ крантомъ впуска пара *d'* и золотникомъ *в* помощію стержня *H*. Для этого къ неподвижной коробкѣ, служащей сѣдломъ сказанному золотнику, привинчены подставки небольшаго лежачаго вала *h*, снабженнаго 1) рычагомъ *i*, который соединяетъ этотъ золотникъ со стержнемъ *H*; и 2) вторымъ рычагомъ *i'*, который помощію прутка *h'* поворачиваетъ горловой клапанъ въ воздухопроводѣ *E*. Независимо отъ механизма *g*, вращающаго крантъ *d'* для впуска пара въ генераторъ, давленіе регулируется клапаномъ, устанавливаемымъ съ площадки помощію стержня *Д'*. Изъ чертежа (стр. 621) видно, что золотникъ *в* и коробка съ распредѣлительными каналами *a*, *c'* и *e'* снабжены рубашками, дабы охлаждать ихъ струею воды во избѣжаніе разрушенія подъ вліяніемъ теплоты извлекаемаго водянаго газа.

Водяной газъ промывается въ скрубберѣ *B*, сначала посредствомъ трубы *F'* съ насадкою, погруженною на 10 см. въ протекающую воду (сливающуюся по трубкѣ *k* въ сифонъ *K*). Скрубберъ имѣетъ нѣсколько полокъ изъ продыравленныхъ листовъ, на коихъ наложенъ крупный коксъ; сверху на него льется вода изъ кольца *k'* и трубы *K'*. Водяной газъ проходитъ здѣсь золу и примѣси; а потомъ по трубѣ *L* идетъ въ газометръ и изъ него либо къ мѣсту употребленія, либо въ очистители, если служитъ для освѣщенія.

Генераторный газъ или газъ Сименса увлекаетъ пыли и изгарковъ еще больше чѣмъ водяной; поэтому его тоже пропускаютъ черезъ пыльникъ. Онъ состоитъ тоже изъ цилиндра *C* съ коксомъ, смачиваемымъ водою изъ кольца *n* съ дырочками и изъ той же трубы *K'*, доставляющей воду въ скрубберъ *B*. Выйдя изъ генератора черезъ *e*, газъ ведется трубами *M* и *M'* подъ рѣшетку *l*, но безъ погруженія въ воду бассейна *l'*, которая служитъ только гидравлическимъ запоромъ; онъ проходитъ коксовый столбъ и выходитъ наверху черезъ отверстіе *n'*; отсюда по трубѣ *N* въ топку, гдѣ долженъ сожигаться.

Чтобы съ полнымъ успѣхомъ вырабатывать водяной газъ, рабочій долженъ внимательно наблюдать давленіе въ *MM* водянаго столба, въ генераторѣ и въ скрубберѣ, для чего отъ верхняхъ и нижнихъ частей этихъ приборовъ проведены трубки къ манометрамъ, поставленнымъ на рабочей площадкѣ.

	Генераторы.		Скрубберъ.		Газометръ.
	Верхъ.	Низъ.	Верхъ.	Низъ.	
Оживленіе огня	180 мм.	400 мм.	120 мм.	120 мм.	
Выдѣлка водян. газа	700 мм	600 мм.	250 мм.	260 мм.	120 мм.

При разогрѣвѣ въ генераторъ (въ 10 куб. м.) нагружаютъ 700 клгр. кокса на зажженныя дрова, потомъ пускаютъ дутье въ 60 мм. водянаго столба и быстро погружаютъ генераторъ; по мѣрѣ погруженія давленіе воздуха увеличиваютъ. Черезъ $1^1/_2$ часа шахта полна, давленіе уже 400 мм. Сначала генераторъ даетъ плохой газъ, который хотя и можно сжигать подъ котлами, но надъ слоемъ горящаго кам. угля. Когда генераторъ наполненъ, можно начать полученіе водянаго газа, когда открыты задвижки, запиравшіе газометръ. Приготовляютъ попеременно водяной газъ, вводя въ теченіе 5 минутъ водяной паръ, и генераторный газъ, вдувая въ теченіе 10 минутъ воздухъ.

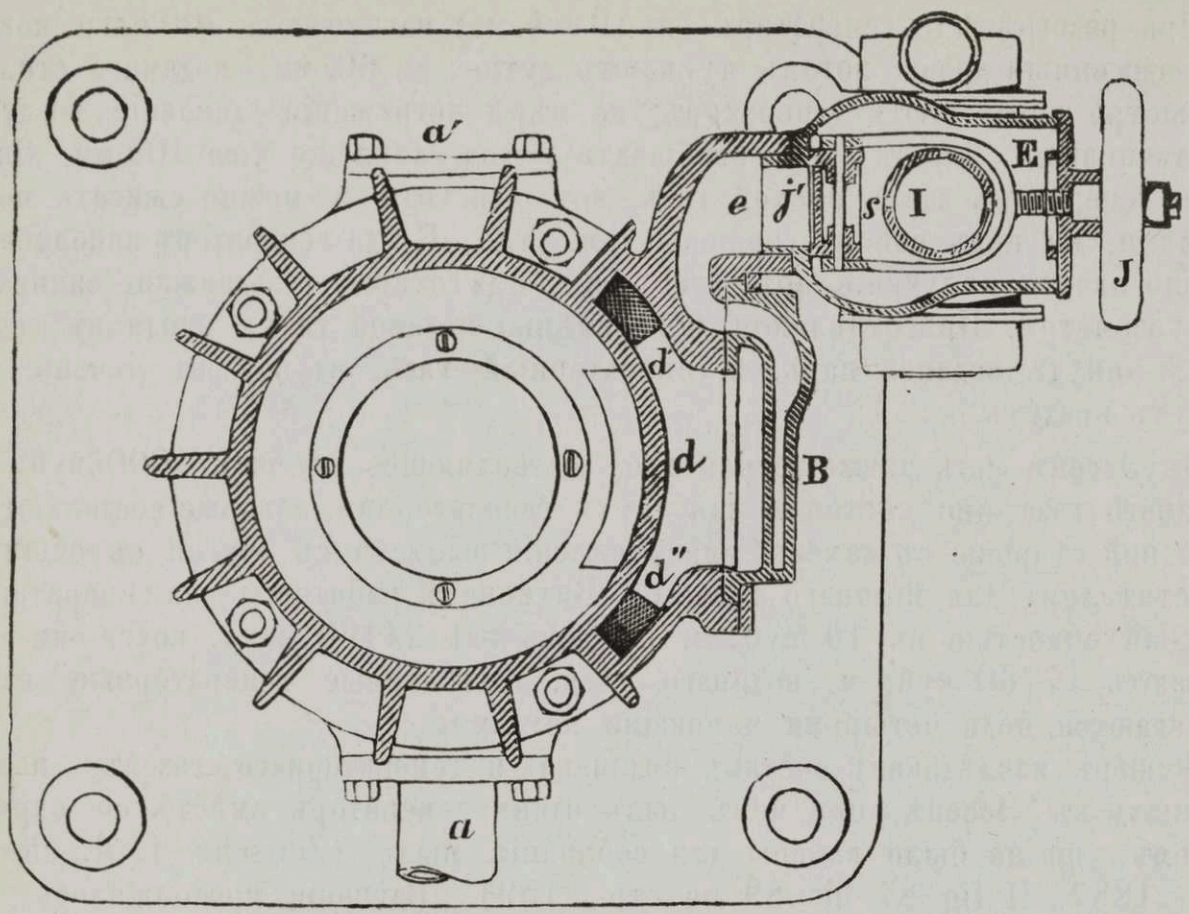
Въ Эссенѣ есть также устройство, доставляющее въ часъ 1000 куб. м. водянаго газа; оно состоитъ изъ двухъ генераторовъ, которые соединяются съ одной стороны съ камерой для осажденія пыли, а съ другой съ общимъ очистителемъ для водянаго газа. Въ Витковицѣ работаютъ два генератора, каждый емкостью въ 10 куб. м. Въ день изъ 24160 клгр. кокса они получаютъ 17760 куб. м. водянаго газа. Получаемые генераторные газы сожигаются подъ четырьмя паровыми котлами.

Фишеръ изслѣдовалъ составъ водянаго и генераторнаго газовъ, получаемыхъ въ Эссенѣ, при чемъ былъ одинъ генераторъ вмѣстѣ со скруббероmъ, но не было камеры для собиранія пыли (Zeitschr. f. d. chem. Ind. 1887, II fig 87 bis 89 на стр. 159). Вдуваніе продолжалось 11 минутъ, а полученіе газа 4 минуты. 1 клгр. кокса въ среднемъ доставлялъ 1,13 куб. м. водянаго газа и 3,13 куб. м. генераторнаго газа. Впродолженіе 6 час. 40 мин. получалось 3690 куб. м. водянаго газа (изъ 3256 клгр. кокса). Средній составъ кокса, генераторнаго и водянаго газа былъ слѣдующій:

Коксъ.			Генераторный газъ.			Водяной газъ.		
			Продолжительность вдуванія въ минутахъ.					
			1,	6.	10,	1,	2,5	4,
Углеродъ	84,8	Углекислота. .	7,04	4,03	1,60	1,8	3,0	5,6
Водородъ	0,5	Окись углерода.	23,68	28,44	32,21	45,2	44,6	40,9
Кислородъ и азотъ . .	2,1	Метанъ. . . .	0,44	0,30	0,18	1,1	0,4	0,2
Зола	10,6	Водородъ . . .	2,95	2,20	2,11	44,8	48,9	51,4
Вода	2,0	Азотъ.	65,89	64,94	63,90	7,1	3,1	1,9

Водяной газъ, очищаемый въ скрубберѣ, въ среднемъ состоитъ изъ 3,3% углекислоты, 44,0% окиси углерода, 0,4% метана, 48,6% водорода и 3,7% азота. При горѣніи 1 куб. м. этого водянаго газа выдѣляется слѣдовательно 2630 единицъ тепла, а 1 куб. м. генераторнаго газа 950 Е. Т.

Температуры горѣнія водянаго газа, свѣтильнаго газа и генераторнаго газа Науманъ (см. тамъ же стр. 89) даетъ для перваго 2859°, для втораго 2700° и для третьяго 1935°. Но эти температуры на практикѣ достигнуты быть не могутъ, вслѣдствіе диссоціаціи продуктовъ горѣнія, углекислоты и воды, и въ настоящее время нѣтъ средства вѣрно установить эти температуры. Генераторный газъ, имѣющій весьма ничтожное количество горючаго газа и очень много азота, конечно даетъ и меньшій пирометрическій эффектъ, чѣмъ водяной газъ. Совершенно иначе при свѣ-



фиг. 729.

тильномъ газѣ. Не смотря на то, что какъ этотъ послѣдній, такъ и водяной газъ стоятъ по ихъ пирометрическимъ эффектамъ теоретически близко другъ къ другу, опытъ показываетъ, что температуры, даваемыя водянымъ газомъ, не могутъ быть достигнуты свѣтильнымъ. Въ достиженіи этого высшаго пирометрическаго эффекта и заключается преимущество водянаго газа передъ другими горючими матеріалами.

Причина, по которой пламя водянаго газа имѣетъ высшую температуру, чѣмъ пламя свѣтильнаго, по замѣчанію Люнге заключается въ томъ, что пламя водянаго газа гораздо меньше, чѣмъ свѣтильнаго, а именно поверхность перваго составляетъ только $^1/_6$ поверхности втораго. Поэтому въ первомъ случаѣ лучеиспусканіе теплоты гораздо меньше, чѣмъ во второмъ, горѣніе водянаго газа происходитъ гораздо быстрѣе, чѣмъ свѣтильнаго, и содержаніе свѣтильнаго газа по отношенію водорода и окиси углерода къ трудно горящему метану можетъ быть причиной его медленнаго горѣнія (см. Люнге Zeitscher. f. d. chem. Ind. 1887 стр. 176).

Водяной газъ въ настоящее время находитъ обширное примѣненіе въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ необходима высокая температура. Такъ напримѣръ въ Витковицѣ его употребляютъ для печей Мартена Сименса (Langer, Zeitschr. f. d. chem. Ind. 1887 стр. 183); выгода при этомъ больше, чѣмъ при употребленіи генераторнаго газа. Въ Эссенѣ онъ употребляется также при свариваніи волнистыхъ трубъ. Далѣе онъ годится для достиженія послѣдней высокой температуры при сплавленіи стекла, наконецъ во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ стремятся къ равномѣрности, чистотѣ и несложности отопленія, но не къ совершенному пользованію горючимъ матеріаломъ, при чемъ можно было-бы употреблять свѣтильный газъ, еслибы онъ не былъ слиш-

комъ дорогъ. Въ Эссенѣ водяной газъ употребляется и для отопленія жилыхъ помѣщеній. Водяной газъ примѣнимъ также въ газовыхъ двигателяхъ. По опытамъ, произведеннымъ въ Эссенѣ, въ часъ на лошадь расходуется 1 куб. м. водянаго газа. *)

Не менѣе важно примѣненіе водянаго газа, какъ освѣтительнаго матеріала. Несвѣтящему пламени водянаго газа силу свѣченія сообщаютъ или карбурированіемъ углеродистыми водородами, о чемъ уже было говорено выше, или-же накаливаніемъ въ немъ твердыхъ тѣлъ. Послѣднимъ принципомъ Жилляръ воспользовался еще въ 1846 г., при чемъ сѣтку изъ платиновой проволоки онъ доводилъ въ пламени водянаго газа до бѣлаго каленія. Этотъ, такъ называемый, платиновый газъ (gaz platine) употреблялся нѣкоторое время во многихъ мѣстахъ Франціи, такъ напримѣръ для освѣщенія города Нарбонны, въ гальвано-пластическихъ мастерскихъ Христофа и С⁰ въ Парижѣ и пр. Конечно этотъ способъ освѣщенія, вслѣдствіе высокой въ то время цѣны водянаго газа, а также вслѣдствіе незначительной прочности платиновыхъ сѣтокъ скоро былъ оставленъ. Въ настоящее время пользуются тѣмъ-же принципомъ, но только употребляютъ для накаливанія другія тѣла. Сюда принадлежитъ магнезіальный свѣтъ накаливанія Фанеельма (Jahrber. f. chem. Technol. f. 1786, стр. 1143) и свѣтъ цирконіевый накаливанія Ауера**). Магнезіальный свѣтъ накаливанія употребляется напр. у Шульца, Кнаудта и К⁰ въ Эссенѣ, у Пинча въ Фюрстенвальдѣ и др.

Фанеельмъ беретъ гребень съ металлической оправой, зубья коего состоятъ изъ магнезіальныхъ иголокъ, величиною съ зажигательную спичку; этотъ гребень ставится надъ манчестерскою горѣлкою.

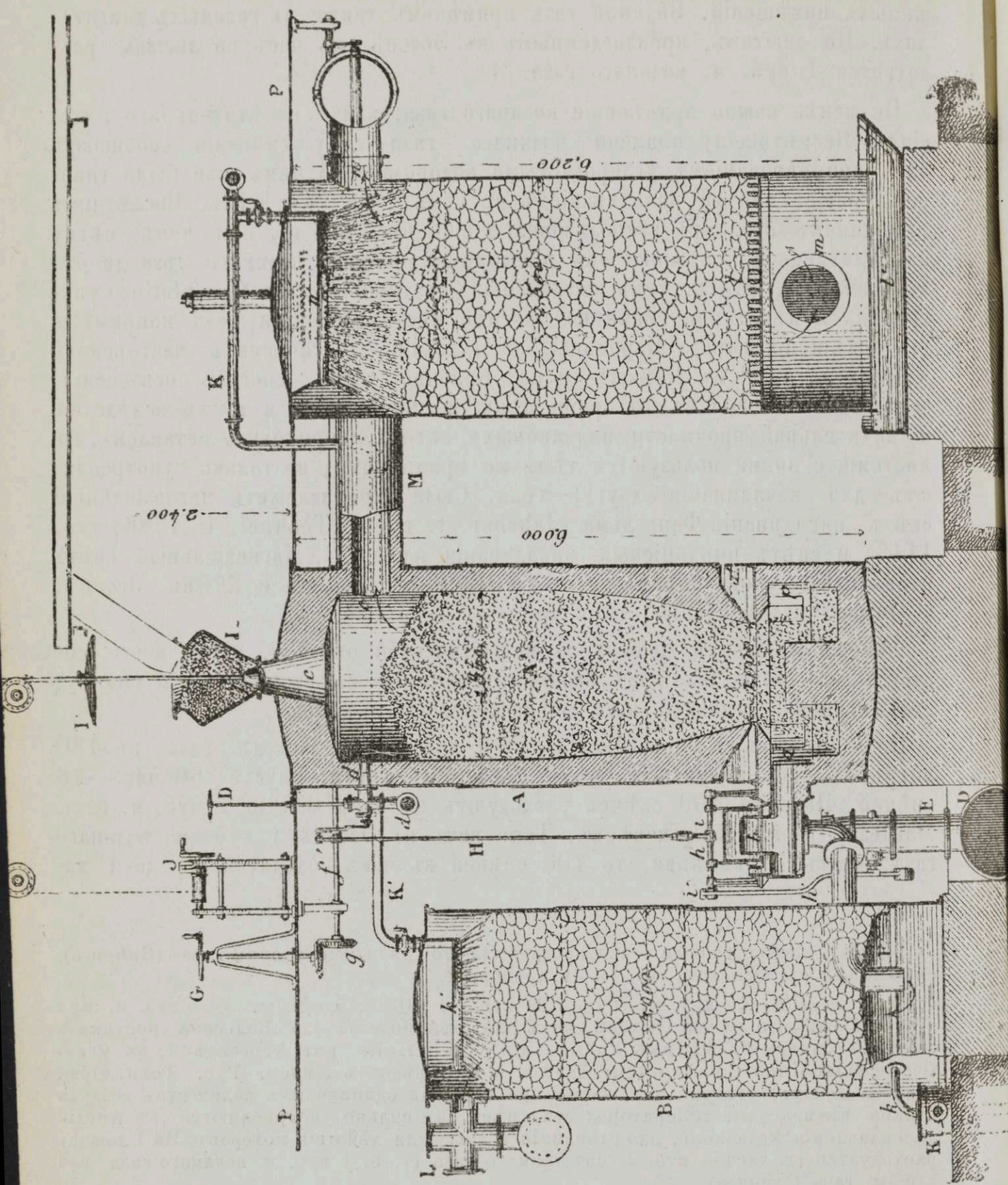
По Фишеру при употребленіи новой магнезіи и расходѣ газа въ 180 литръ въ часъ получаютъ свѣтъ 22 до 24 свѣчей; спустя 60 час.—16 свѣчей. Поэтому 100 свѣчей расходуютъ въ часъ 0.8 до 1 куб. м. газа. Магнезія стоитъ $7^1/_2$ копѣекъ. Такъ какъ въ Эссенѣ 1 куб. м. водянаго газа стоитъ $^1/_2$ копѣйки, то 100 свѣчей въ часъ обходятся $^3/_4$ до 1 ко-

---

*) Блассъ старался также утилизировать для этой цѣли генераторный газъ (Сименса), смѣшанный съ водянымъ газомъ въ пропорціи

0,5 куб. м. CO+0,5 куб. м. H съ 1,36 куб. м. CO+2,15 куб. м. N=5 куб. м. газа это есть тотъ же самый составъ, какъ для газа Довзона или Вильсона (рисунки и описаніе смотри въ 30 томѣ Publication industrielle par Armengaud; въ Practische Maschinen-Constructeur 1889 г. и въ запискахъ Импер. Рус. Техн. Общ. 1889 г. Ноябрь) который получается при вдуваніи одинаковыхъ количествъ воздуха и пара въ коксовый генераторъ; эти смѣси уже сильно употребляются въ Англіи для плавленія металловъ, для отопленія и даже для дѣйствія моторовъ. На 1 лошадь расходуется въ часъ 5 куб. м. смѣшаннаго газа (т. е. 1 куб. м. водянаго газа и 4 куб. м. газа Сименса).

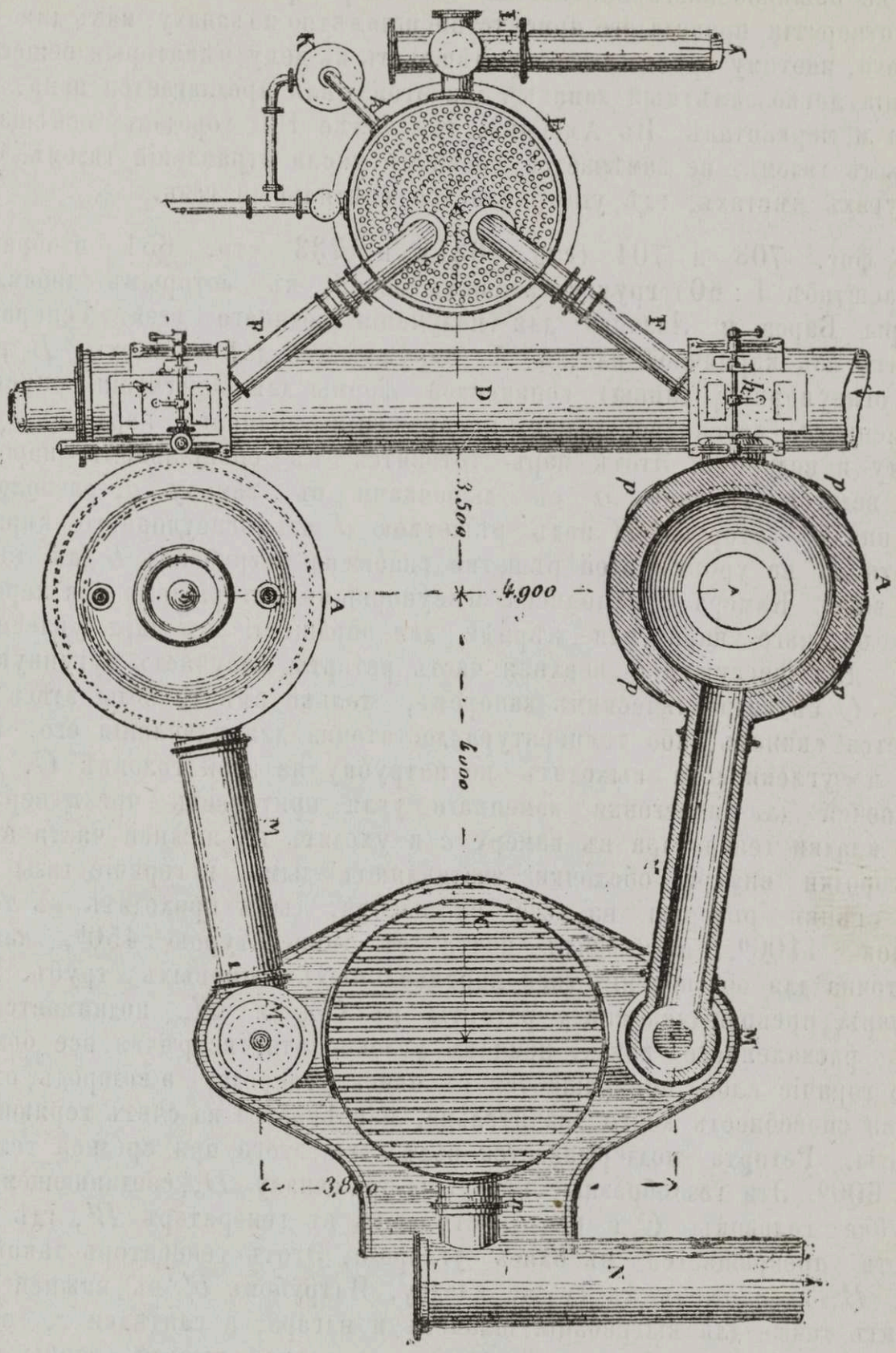
**) Jahrber. f. chem. Technol. f. 1885, стр. 1292, 1886 стр. 1144. Горѣлка Ауэра есть ничто иное какъ обыкновенная бунзеновская горѣлка, на верхній выходной конецъ которой надѣтъ колпакъ изъ бумажной или шерстяной матеріи, обработанной особымъ образомъ при помощи цирконія и окиси лантана или иридія. Колпакъ наверху поддерживается платиновою проволокою, концы коей укрѣплены къ мѣднымъ прутикамъ, спускающимся отъ мѣднаго же кольца. При помощи винта кольцо съ колпакомъ можно поднимать и опускать. Свѣтъ раскаленнаго колпака бѣлый и очень яркій, но сила свѣта не велика; при томъ горѣлка Ауэра требуетъ большаго ухода при установкѣ и обжиганіи колпака (см. Симонова, Энциклопедическій словарь общеполезныхъ свѣдѣній).



фиг. 731.

пѣйки. Далѣе Фишеръ замѣчаетъ, что магнезіальный свѣтъ накаливанія даже дешевлѣ керосиноваго.

Употребленіе карбурированнаго водянаго газа для освѣщенія имѣетъ одну значительно невыгодную сторону, а именно сгущеніе части углеводородовъ вслѣдствіе сильнаго охлажденія. Громадное его распространеніе



фиг. 732.

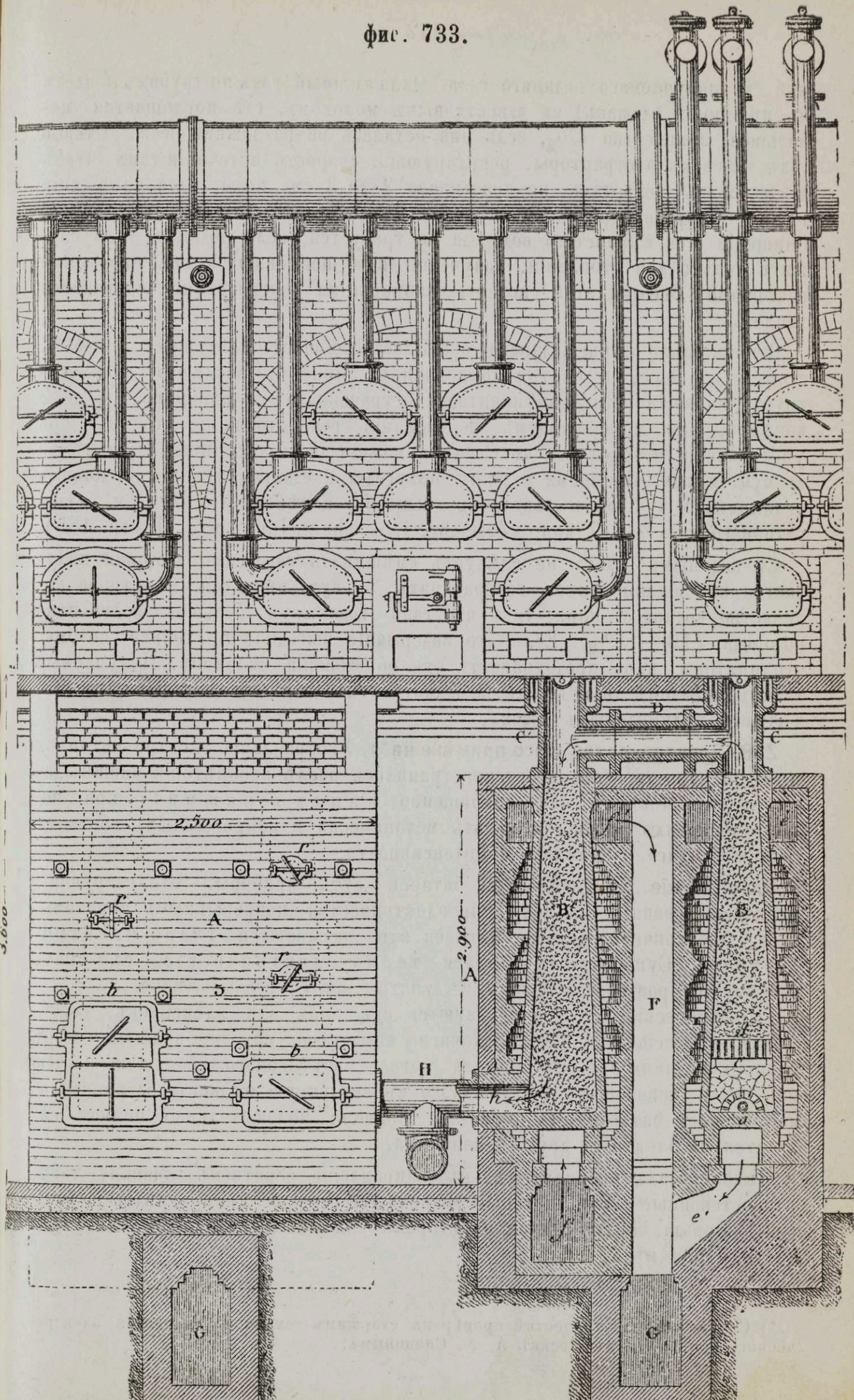
въ Америкѣ, гдѣ въ настоящее время восьмая часть всѣхъ газовыхъ заводовъ добываетъ карбурированный водяной газъ, зависитъ отъ высокой цѣны хорошаго газоваго угля и большаго количества хорошаго и дешеваго антрацита, а также нефтяныхъ остатковъ и пр.

Водяной газъ, вслѣдствіе значительнаго содержанія окиси углерода, гораздо

ядовитѣе обыкновеннаго свѣтильнаго газа. При прохожденіи водянаго газа чрезъ отверстія провода его присутствіе незамѣтно по запаху, какъ для свѣтильнаго, поэтому предлагаютъ примѣшивать къ нему нѣкоторыя вещества, имѣющія легко замѣтный запахъ. Для этой цѣли предлагается напр. Асафетида и меркаптанъ. Въ Америкѣ, гдѣ болѣе 100 городовъ освѣщается водянымъ газомъ, не замѣчается большаго числа отравленій газомъ, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ, гдѣ употребляется свѣтильный газъ.

На фиг. 703 и 704 (стр. 621) и 733 стр. 651 изображена (въ масштабѣ 1 : 60) группа газовыхъ печей, къ которымъ добавлены приборы Барса и Лаланса для полученія водянаго газа. Генераторъ состоитъ изъ кирпичной кладки A, окружающей двѣ реторты B и B' (изъ огнеупорной глины) конической формы для облегченія опусканія раскаленнаго кокса во время превращенія водянаго пара въ углекислоту и водородъ. Этотъ паръ готовится въ спеціальномъ паровикѣ I и ведется трубкою a съ дырочками въ камеру c, расположенную внизу реторты B подъ рѣшеткою d изъ огнеупорнаго кирпича. Ретора B на уровнѣ этой рѣшетки снабжена патрубкомъ b для выгребанія золы. Камера c наполнена огнеупорными матеріалами для перегрѣванія водянаго пара или вѣрнѣе для обращенія въ паръ увлеченной воды. Для нагруженія верхняя часть реторты получаетъ чугунную головку C съ гидравлическимъ запоромъ, только вмѣсто воды здѣсь примѣняется свинецъ, ибо температура достаточна для плавленія его. Водородъ и углекислота выходятъ по патрубку на этой головкѣ C. Дымъ изъ печей для перегонки каменнаго угля притекаетъ чрезъ верхнюю часть кладки генератора въ камеру e и уходитъ въ нижней части въ e'. Перегородки внутри оболочки заставляютъ дымъ и горячіе газы омывать стѣнки реторты на всей ея высотѣ. Дымъ приходитъ съ температурою 1100°, а уходитъ почти съ температурою 450°, каковая достаточна для обезпеченія тяги вертикальныхъ дымовыхъ трубъ. Водяной паръ, превращаясь внизу реторты въ Co_2 и H, поднимается въ массѣ раскаленнаго кокса, причемъ углекислота, встрѣчая все болѣе и болѣе горячіе слои, превращается въ окись углерода; а водородъ, охлаждающая способность коего значительна, нагрѣвается на счетъ теряющейся теплоты. Ретора поддерживается вслѣдствіе этого при средней температурѣ 600°. Эти газообразные продукты по каналу D, соединяющему два патрубка головокъ C и C', поступаютъ въ генераторъ B', гдѣ углекислота превращается въ окись углерода. Этотъ генераторъ такой же, какъ B, и заложенъ въ ту же кладку. Патрубокъ b' въ нижней части служитъ также для выгребанія шлаковъ и нагара; а глядѣлки z, закрытыя при работѣ пробками, помѣщены на разной высотѣ, чтобы можно было слѣдить за операціею. Дымъ отъ газовыхъ печей входитъ черезъ низъ въ каналъ f и поднимается вдоль стѣнокъ реторты; изъ верхней части f' дымъ опускается чрезъ колонну F въ тяговую дымовую трубу G. По выходѣ изъ генератора окиси углерода, газы, состоящіе изъ водянаго газа и имѣющіе температуру 1000°, д. б. охлаждены; для этого они чрезъ отверстіе h, устроенное при основаніи реторты, и по трубамъ H входятъ въ паровикъ I, въ коемъ и отдаютъ свою теплоту для полученія пара, нужнаго для полученія газа въ генераторѣ B. Давленіе пара не требуется больше 1 или 2 атм.; количество пара 0,410 клгр. на

фиг. 733.



куб. м. получаемаго водянаго газа. Охлажденный газъ по трубамъ J идетъ въ пріемникъ (лежакъ) съ известковымъ молокомъ, гдѣ поглощается небольшое количество Co_2, если она осталась не разложившеюся. Отсюда газъ идетъ въ экстракторы, регулирующіе скорость истеченія такъ, чтобъ давленіе въ ретортахъ не превышало 2 до 3 см. воды; (для избѣжанія выхода водорода черезъ стѣнки ретортъ и входа воздуха черезъ крышки). Очищеніе отъ сѣрнистаго водорода не требуется, если водяной газъ служитъ только для отопленія, полученія движущей силы и для наружнаго освѣщенія. Выгоды этой системы основаны на употребленіи теряющейся теплоты.

Относительно цѣны водянаго газа Бласъ сообщаетъ слѣдующее: 1 куб. м. стоитъ (въ Эссенѣ), смотря по величинѣ аппарата, исключая стоимость трубъ, включая погашеніе капитала, истраченнаго на аппаратъ, $^1/_2$ до 2 копѣекъ. При совершенномъ пользованіи генераторными газами и при употребленіи отброса отъ кокса цѣна можетъ быть даже ниже $^1/_2$ копѣйки за куб. метръ. Во время перваго полугодія введенія газа въ Витковицѣ стоимость 1 куб. м. въ среднемъ была $^1/_2$ копѣйки, а 1 куб. м. генераторнаго газа—0,17 коп. (Zeitschr. f. d. chem. Ind. 1887, II, стр. 185).

Съ водянымъ газомъ не слѣдуетъ смѣшивать того газа, который получается въ обыкновенныхъ генераторахъ *), куда вводится нѣкоторое количество водянаго пара, такъ что газъ содержитъ большое количество водорода (10—15%). Если это содержаніе выгодно, то только потому, что притокъ пара предохраняетъ отъ образованія шлаковъ. Получаемый такимъ образомъ газъ Бунте называетъ генераторнымъ водянымъ газомъ, а Люнге полуводянымъ газомъ.

218. Электричество и его примѣненія*). Употребленіе электричества въ промышленности особенно распространилось послѣ изобрѣтенія машинъ динамо-электрическихъ или сокращенно динамо-машинъ, при посредствѣ коихъ можно развивать механически и непрерывнымъ образомъ токи желаемаго напряженія и интенсивности.

Опредѣленіе. Гальваническія батареи суть приборы, утилизирующіе химическія реакціи для полученія электричества непрерывнымъ образомъ, т. е. электрическаго тока. Батареи эти называются гидро-электрическими. Существуютъ батареи термо-электрическіе, въ коихъ нагрѣваніе производитъ токъ; онѣ употребляются весьма рѣдко.

Гальваническія батареи образуются изъ паръ или элементовъ, состоящихъ изъ вещества неразъѣдаемаго кислотами или по крайней мѣрѣ мало разъѣдаемаго и изъ металла легко разъѣдаемаго, большею частію изъ цинка, совершенно погруженнаго въ кислотную жидкость. Отрицательный полюсъ батареи есть цинковый полюсъ; положительный полюсъ находится на электродѣ другаго вещества.

Въ батареяхъ проявляются, въ направленіи обратномъ главному току, второстепенные токи, которые ослабляютъ главный токъ вслѣдствіе осадковъ водорода, образующихся на сторонѣ положительнаго полюса на углѣ, платинѣ или мѣди.

---

*) Статья объ электричествѣ провѣрена старшимъ техникомъ общества электрическаго освѣщенія въ Москвѣ А. А. Спицинымъ.

Если главный токъ ослабляется, тогда говорятъ, что батарея поляризуется.

Проводники суть металлическія проволоки, которыя позволяютъ переносить электрическій токъ туда, куда это нужно. Реофоры суть также металлическія проволоки, соединяющія электроды съ проводниками.

Электрическою цѣпью называется совокупность, образуемая батареей, реофорами, проводниками и приборами, которые утилизируютъ электрическій токъ.

Всѣ части цѣпи представляютъ нѣкоторое сопротивленіе прохожденію тока. Это сопротивленіе измѣняется съ температурою и съ природою и размѣрами проводника.

Разомкнутою цѣпью называетъ тогда, когда существуетъ разрывъ непрерывности въ его прохожденіи. Въ этомъ случаѣ никакой токъ не проходитъ черезъ цѣпь.

Цѣпь называется замкнутою, когда полюсы связаны проводникомъ, сопротивленіе коего почти нуль.

Электро-возбудительная сила. Электро-возбудительная сила, напряженіе или потенціалъ есть причина, опредѣляющая теченіе электричества въ цѣпи, совершенно сходная съ давленіемъ, которое вызываетъ въ водопроводѣ дѣйствіе насоса или дѣйствіе поднятаго резервуара, наполненнаго водою, съ которымъ водопроводъ находится въ соединеніи. Въ силу разности потенціаловъ двухъ точекъ электричество передается отъ одной точки къ другой. Два тѣла имѣютъ одинъ и тотъ же потенціалъ, если между ними не проявляется электрическій токъ, когда соединимъ ихъ проводящею проволокою. Потенціалъ земли разсматривается въ практикѣ равнымъ нулю.

Практическая единица называется вольтъ; она соотвѣтствуетъ электровозбудительной силѣ, развиваемой элементомъ Даніэля, въ коемъ мѣдный купоросъ замѣнили азотнокислою солью того же металла и цинкъ коего погруженъ въ воду, подкисленную на $^1/_{12}$ сѣрною кислотою.

Сопротивленіе. Сопротивленіе, представляемое прохожденію электричества въ проводникахъ различной природы или внутри батарей, которые производятъ это электричество, аналогично сопротивленію, которое противодѣйствуетъ теченію воды въ водопроводѣ.

Практическая единица, обыкновенно употребляемая, называется омъ; она эквивалентна сопротивленію прохожденія электричества, представляемому столбомъ чистой ртути въ 1 кв. мм. сѣченія и длиною 1,06 м. при 0^0 Ц.

Это сопротивленіе соотвѣтствуетъ тому сопротивленію, которое представляетъ длина 95 метровъ желѣзной гальванизированной проволоки діаметромъ въ 4 мм.

Интенсивность или сила. Сила электрическаго тока есть функція двухъ предъидущихъ единицъ: она представляетъ величину произведенной работы. Токъ имѣетъ силу двойную, тройную,... въ сравненіи съ другимъ, когда онъ производитъ ту же самую работу какъ 2, 3,.... тока, равныхъ этому другому и проходящихъ одновременно въ томъ же самомъ проводникѣ. Уподобляя опять теченіе электричества теченію воды, можно сказать, что сила электрическаго тока аналогична току воды, ско-

рость котораго пропорціональна начальному давленію при началѣ трубы и обратно пропорціональна ея длинѣ и сопротивленію.

Практическая единица силы называется а м п е р ъ; это есть токъ, произведенный потенціаломъ въ одинъ вольтъ въ цѣпи, имѣющей сопротивленіе одинъ омъ.

Количество.—Количество электричества, которое проходитъ въ цѣпи, аналогично количеству воды, проходящему въ трубѣ подъ давленіемъ. Это количество пропорціонально времени, въ теченіе котораго оно протекаетъ, и давленію, которое опредѣляетъ истеченіе и обратно пропорціонально сопротивленію провода.

Въ практикѣ употребляютъ единицу количества, называемую к у л о м б ъ; она представляетъ количество электричества, проходящее въ секунду въ проводникѣ съ сопротивленіемъ въ одинъ омъ, когда это электричество имѣетъ потенціалъ въ одинъ вольтъ.

Возвращаясь къ предъидущему опредѣленію, мы видимъ, что токъ имѣющій одинъ амперъ силы будетъ производить въ секунду одинъ куломбъ; и выводимъ отсюда другую единицу, часто употребляемую въ практикѣ; а м п е р ъ - ч а с ъ, которая будетъ эквивалентна 3600 куломбамъ, такъ какъ часъ содержитъ 3600 секундъ.

По отношенію къ данному источнику электричества выраженіе это означаетъ, что этотъ источникъ можетъ передать проводнику 3600 амперовъ: или въ теченіе 1 часа по 1 амперу въ секунду или въ болѣе короткое время—по нѣсколько амперовъ въ секунду, напр. въ теченіе получаса по 2 ампера въ секунду, въ теченіе $^1/_4$ часа по 4 ампера въ секунду и т. д., или наконецъ въ болѣе продолжительное время по какой либо части ампера въ секунду, напр. въ теченіе 2 часовъ по $^1/_2$ ампера въ секунду.

Емкость. Чтобы составить себѣ отчетливое понятіе о томъ, что называютъ электрическою емкостію конденсатора, соединеннаго съ источникомъ электричества, имѣющимъ опредѣленную электро-возбудительную силу, для аналогіи нужно разсмотрѣть то, что происходитъ, если низъ открытаго резервуара неопредѣленной высоты соединить съ трубою, проводящею воду подъ давленіемъ. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ резервуаръ будетъ наполняться до тѣхъ поръ, пока онъ будетъ содержать столбъ воды, высота коего надъ отверстіемъ трубы производитъ давленіе, равное давленію воды, выходящей изъ этой трубы. Въ этотъ моментъ будетъ существовать равновѣсіе и объемъ принятой воды достигнетъ наибольшей своей величины.

Но если желаемъ, напримѣръ, удвоить давленіе воды въ трубѣ, то уровень воды въ резервуарѣ будетъ повышаться до удвоенной высоты и въ этотъ моментъ снова наступитъ равновѣсіе и такъ далѣе.

По аналогіи понятно, что электрическая емкость конденсатора электричества, должна измѣняться пропорціонально электро-возбудительной силѣ электрическаго тока, который къ нему примыкаетъ, и что, стало быть, будемъ запасать въ этомъ конденсаторѣ электричества больше, когда поставимъ его въ соединеніе съ токомъ, имѣющимъ большую электро-возбудительную силу.

Электрическая единица ёмкости есть фарадъ, который представляетъ то количество электричества, которое будетъ накопляться въ конденсаторѣ данныхъ размѣровъ, нагружая его токомъ, имѣющимъ потенціалъ въ одинъ вольтъ. Такъ какъ фарадъ есть количество слишкомъ большое для нуждъ практики, то въ дѣйствительности употребляется только микрофарадъ, который составляетъ одну милліонную часть фарада.

Въ слѣдующей таблицѣ сгруппированы названія и обозначенія электрическихъ единицъ, опредѣленныхъ выше:

	Названіе единицы.	Обозначеніе.
Сопротивленіе	Омъ.	*R*
Электровозбудительная сила	Вольтъ.	*E*
Интенсивность или сила тока	Амперъ.	*I*
Количество	Куломбъ.	*Q*
Емкость	Фарадъ.	*C*

Для большаго удобства при вычисленіяхъ установлены кратныя величины и подраздѣленія этихъ единицъ. Эти кратныя и подраздѣленія указываются при посредствѣ приставокъ; вотъ номенклатура:

Кратныя:	Мега или мегъ	обозначаетъ	1.000.000	единицъ.
	Миріа	„	10.000	„
	Кило	„	1.000	„
	Гекто	„	100	„
	Дека	„	10	„
Подраздѣленія.	Деци	обозначаетъ	1:10	единицы.
	Санти	„	1:100	„
	Милли	„	1:1.000	„
	Микро или микръ	„	1:1.000,000	„
Такимъ образомъ	одинъ мегаомъ	обозначаетъ	1.000,000	омовъ.
	одинъ миллиамперъ	„	1:1.000	ампера.
	одинъ микрофарадъ	„	1:1.000,000	фарада.

Система вышеуказанныхъ единицъ, установленная международнымъ конгрессомъ электриковъ въ 1881 году, обозначена подъ названіемъ системы *C. G. S* (сантиметръ-граммъ-секунда). Употребляются еще различныя единицы, изъ которыхъ главная есть омъ *B. A.* (британская ассоціація), равный 0,9889 ома *C. G. S.* Единица Сименса обозначаетъ $^{100}/_{106}$ или 0,943 ома.

Интенсивность токовъ.—Сопротивленіе. Законы, которые управляютъ интенсивностію тока, формулируются слѣдующимъ образомъ:

1) Интенсивность тока остается одна и та-же во всѣхъ точкахъ цѣпи наружной и внутренней данной батареи (или динамо машины).

2) Интенсивность тока обратно пропорціональна полному сопротивленію цѣпи, т. е. обратно пропорціональна суммѣ наружнаго сопротивленія R' цѣпи и внутренняго сопротивленія r батареи (или динамо-машины).

3) Интенсивность тока прямо пропорціональна электровозбудительной силѣ батареи (или динамо), если полное сопротивленіе $R'+r$ цѣпи не измѣняется.

Называя черезъ E сумму электро-возбудительныхъ силъ, дѣйствующихъ въ цѣпи; черезъ I интенсивность тока; черезъ $R=(R'+r)$ сумму сопротивленій, которыя представляетъ вся цѣпь распространенію электричества, имѣемъ (Законъ Ома):

$$I=\frac{E}{R} \text{ ; откуда } E=IR \text{ и } R=\frac{E}{I}$$

Произведеніе EI (вольтъ амперъ) принято называть уаттомъ. Динамомашины подчиняются тѣмъ же законамъ, какъ батареи.

Соотношенія между единицами механическими и электрическими. Данное количество электричества производитъ сумму работы, которая зависитъ только отъ разности потенціаловъ крайнихъ точекъ цѣпи, чрезъ которую проходитъ это количество электричества.

1 клгрмтр.=9,81 уаттамъ или 1 уаттъ=1 клгрмтр. : 9,81.

1 паровая лошадь=75 клгрмтр. или 736 уаттамъ (англійская паровая лошадь на $^1/_{73}$ больше французской).

Обозначая работу въ килограмметрахъ чрезъ T, имѣемъ:

$$T=\frac{IE}{9,81}=\frac{I^2R}{9,81}=\frac{E^2}{9,81R}$$

гдѣ I выражено въ амперахъ, E въ вольтахъ и R въ омахъ.

Законъ сопротивленія (Пулье). Электрическое сопротивленіе R проводника пропорціонально его длинѣ l, обратно-пропорціонально ея площади s и прямо пропорціонально удѣльному коеффиціенту r сопротивленія (смотри нижеслѣдующія таблицы проводимости веществъ и мѣди).

Слѣдовательно имѣемъ:

$$R=\frac{r\,.\,l}{S}$$

гдѣ r представляетъ сопротивленіе въ омахъ на метръ длины матеріала, изъ котораго сдѣланъ проводникъ.

Примѣръ: Вычислить сопротивленіе желѣзной проволоки длиною въ 3 километра и діаметромъ въ 3 мм. (площадь 7,0686 кв. мм.)?

$$R=\frac{0,099.3000}{7,0686}=42,016 \text{ омовъ.}$$

Это вычисленіе только приблизительное, ибо сопротивленіе измѣняется съ температурою, съ степенью чистоты тѣлъ, съ способомъ соединенія проводниковъ и пр.

---

*) Международная коммиссія, собранная для опредѣленія окончательной величины электрическихъ единицъ, приняла за величину ома сопротивленіе ртутнаго столба площадью въ 1 квадратный миллиметръ и длиною въ 106 сантиметровъ.

Сопротивленіе металловъ и электрическая проводимость при 0^0.

МЕТАЛЛЫ.	Площадь 1 кв. мм.		Омовъ на метръ проволоки въ 1 мм. діаметромъ.	Электрическая проводимость при 0^0 серебро=100.
	Длина на 1 омъ.	Омовъ на метръ длины (r)		
Ртуть	1 метръ	1,000 (1)	1,2247	1,63
Серебро	0,065	0,015	0,01937	100
Мѣдь.	0,060	0,016	0,02057	92
Платина.	0,012	0,091	0,1166	11
Золото.	0,048	0,021	0,02650	73
Аллюминій	0,034	0,0295	0.03751	100
Желѣзо.	0,010	0,099	0,1251	14,44
Свинецъ	0,005	0,199	0,2526	7,7
Никкель	0,008	0,125	0,1604	13,11
Цинкъ	0,018	0,056	0,07244	27,40
Олово	0,0075	0.133	0.1701	11,45
Сюрьма	0,0028	0,359	„	„
Висмутъ	0,00075	1,327	„	„
Мельхіоръ.	„	„	0,2695	7,9

Для измѣренія дѣйствительнаго сопротивленія нужно употребить способъ, называемый мостикомъ Уетстона *).

Угли составляютъ тѣмъ лучшіе проводники электричества, чѣмъ до высшей они доведены температуры.

Металлы отожженные образуютъ болѣе хорошіе проводники, чѣмъ металлы кованные. Теплота уменьшаетъ ихъ электрическую проводимость, среднимъ числомъ на 0,0038 на градусъ Цельсія. Увеличеніе сопротивленія при данной температурѣ t получится чрезъ умноженіе коеффиціента электрической проводимости при 0^0 (предъидущая таблица) на произведеніе $0{,}0038\ t$.

Примѣръ. Какова будетъ электрическая проводимость желѣза при 50^0? Такъ какъ проводимость при 0^0 равняется 14,41, то потеря будетъ $14{,}44 . 0{,}0038 . 50 = 2{,}744$; слѣдовательно проводимость при 50^0 равняется

$$14{,}44 - 2{,}74 = 11{,}70;$$

а сопротивленіе, выраженное въ омахъ, будетъ $^{14,44}/_{11,70}$ то есть въ 1,234 раза болѣе чѣмъ при 0^0. Выше 100^0 этотъ способъ вычисленія уже непримѣнимъ съ точностію.

Проводимость мѣди. Сопротивленіе мѣди измѣняется значительно, смотря по способу ея приготовленія и по ея чистотѣ. Если проводимость чистой мѣди=100, то очень часто встрѣчается мѣдь, которая проводитъ меньше 70 или даже 60. По Матиссену постороннія вещества сплавленныя съ мѣдью, понижаютъ проводимость по слѣдующей таблицѣ.

*) Смотри G. Dumont: Traité pratique d'électricité appliquée à l'exploitation des chemins de fer.

Вещества, сплавленныя съ чистою мѣдью, въ процентахъ.		Температура.	Проводимость (чистой мѣди =100).
Углеродъ	0,5	18°,3	77,87
Сѣра	0,18	19, 4	92,08
Фосфоръ	0,13	20	70,34
	0,95	22,1	24,16
	2,5	17,5	7,52
Мышьякъ	Слѣды.	19,7	60,08
	2,8	19,3	13,66
	5,4	16,8	6,42
Цинкъ	Слѣды.	19,0	88,41
	1,6	16,8	79,37
	3,2	10,3	59,23
Желѣзо	0,48	11,2	35,92
	1,66	13,1	28,01
Олово	1,33	16,8	50,44
	2,52	17,1	33,93
	4,9	14,4	20,24
Серебро	1,22	20,7	90,34
	2,45	19,7	82,52
Золото	3,5	18,1	67,94
Аллюминій	10,0	14.0	12,68

Сопротивленіе жидкостей. Жидкости представляютъ прохожденію токовъ гораздо большее сопротивленіе, нежели металлы. Въ противоположность металламъ, это сопротивленіе убываетъ съ возвышеніемъ температуры. Сопротивленіе воды почти въ 44000000 разъ больше нежели сопротивленіе мѣди; прибавка соли или кислоты дѣлаетъ воду болѣе проводящею. Насыщенный растворъ мѣднаго купороса почти въ 12000000 разъ болѣе сопротивляющійся, чѣмъ мѣдь; этотъ коеффиціентъ равенъ 1100000 для смѣси воды съ 11% (по объему) сѣрной кислоты.

Объ этомъ предметѣ имѣются только данныя опыта. Цифры таблицы (страница 660) суть сопротивленія въ омахъ *B. A.* (1 омъ *B. A.*=0,99 ома *C. G. S.*) куба жидкости, имѣющаго стороною 1 сантиметръ, между его противоположными сторонами. На основаніи этого и для всякаго другаго количества можно вычислять сопротивленіе по законамъ, изложеннымъ выше.

Таблица наглядно указываетъ наибольшую величину проводимости растворовъ азотнокислой мѣди и цинковаго купороса. Этого нѣтъ для морской соли. Этотъ максимумъ соотвѣтствуетъ 24,4 на 100 воды.

На страницѣ 661 находимъ по этому же самому предмету таблицу Бекереля (Annales de Chimie et de Physique, 1846).

Соотношенія между единицами термическими и электрическими. Законъ Джауля. Когда токъ, коего интенсивность=I, проходитъ цѣпь, сопротивленіе которой=R, то онъ нагрѣваетъ ее; и если этотъ токъ не производитъ никакого дѣйствія магнитнаго или механическаго, то Джауль доказалъ опытомъ, что количество теплоты C, выдѣляемое токомъ въ единицу времени, выражается формулою $C=0{,}246\ I^2R$ калорій (граммъ—градусъ).

Обыкновенно калоріею называютъ количество теплоты, потребной для возвышенія температуры 1 килограмма воды на 1 градусъ Цельсія, но въ предъидущей формулѣ калорія (граммъ-градусъ) принимается въ тысячу разъ меньше. Эту формулу можно изображать еще въ двухъ другихъ формахъ.

$C = 0{,}2406 \frac{E^2}{R}$ калорій (граммъ-градусъ);

и $C = 0{,}2406\ IE$ калорій (граммъ-градусъ).

(I въ амперахъ, E въ вольтахъ, R въ омахъ).

Сопротивленіе отожженой чистой мѣдной проволоки при 0^0 (по Дюмону).

(Плотность = 8,9).

Нумеръ десятичнаго калибра.	Діаметръ въ миллиметрахъ.	Вѣсъ метра въ граммахъ.	Длина въ метрахъ на килограммъ проволоки.	Сопротивленіе отожженной чистой проволоки при 0^0.		
				Омовъ на километръ.	Метровъ на омъ.	Омовъ на килограммъ.
„	5,0	175,00	5,7	0,8	1230,50	0,00456
20	4,4	135,28	7,4	1,06	944,38	0,00784
19	3,9	106,35	9,5	1,35	722,00	0,0128
18	3,4	80,80	12,5	1,80	563,92	0,0222
17	3,0	62,93	16,0	2,3	439,07	0,0365
16	2,7	51,00	19,8	2,8	355,65	0,0557
5	2,4	40,23	25	3,6	281,00	0,0880
14	2,2	33,82	29	4,2	236 08	0,123
13	2,0	27,95	36	5,1	195,15	0,185
12	1,8	22,70	44	6,3	158,08	0,278
11	1,6	17,89	56	8,0	124,90	0,448
10	1,5	15,75	63	9,1	109,75	0,574
9	1,4	13,70	73	10,5	95,651	0,763
8	1,3	11,84	85	12,0	82,420	1,03
7	1,2	10,06	100	14,0	70,247	1,42
6	1,1	8,47	119	17,0	59,024	2,02
5	1,0	6,99	144	20,0	48,`82	2,95
4	0,9	5,66	178	25,0	39,515	4,19
3	0,8	4,47	225	32,0	31,225	7,21
2	0,7	2,83	294	42,0	23,900	12,30
1	0,6	2,52	400	57,0	17,560	22,78
P	0,5	1,74	576	81,0	12,305	46,81
„	0,40	1,1750	902	122,4	8,173	110,41
„	0,34	0,8080	1251	177,9	5,622	222,55
„	0,30	0,7181	1607	228,5	4,377	367,20
„	0,24	0,4026	2508	357,0	2,801	895,36
„	0,20	0,2797	3614	514,0	1,945	1857,60
„	0,16	0.1790	5590	803,1	1,245	4489,00
„	0,12	0,1007	9929	1428,0	0,700	14179,00
„	0,10	0,0699	14369	2056,0	0,486	29549,00
„	0,08	0,0447	24570	3213,0	0,311	78943,00
„	0,06	0,0252	39824	5713,0	0,173	227517 00
„	0 04	0,0112	88878	12848,0	0,078	1142405,00

Сопротивленіе различныхъ жидкостей, въ омахъ В. А.

Таблица вычислена Флемингомъ Дженкиномъ (Electricity and Magnetism), по Бекеру (Annalen der Chimie und Pharmacie 1850—1851).

Мѣдный купоросъ.	Вода	Температура.						
		14°	16°	18°	20°	24°	28°	30°
8 частей. . . .	190 частей.	45,7	43,7	41,9	40,2	37,1	34,2	32,9
12 „	„	36,3	34,9	33,5	32,2	29,9	27,9	27,0
16 „	„	31,2	30,0	28,9	27,9	26,1	24,6	24,0
20 „	„	28,5	27,5	26,5	25,6	24,1	22,7	22,2
24 „	„	26,9	25,9	24,8	23,9	22,2	20,7	20,0
28 „	„	24,7	23,4	22,1	21,0	18,8	16,9	16,0

Цинковый купоросъ.	Температура.							
	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°
95 граммовъ въ 100 куб. сантиметр. раствора	22,7	21,4	20,2	19,2	18,1	17,1	16,3	15,6
95 граммовъ въ двойномъ объемѣ. . . .	—	—	21,1	20,3	19,5	18,8	18,1	17,3

Азотная кислота, плотность 1,36.	Температура.							
	2°	4°	8°	12°	16°	20°	24°	28°
	1,94	1,83	1,65	1,50	1,39	1,30	1,22	1,18

Разбавленная сѣрная кислота. Плотности.	Температура.							
	0°	4°	8°	12°	16°	20°	24°	28°
1,10	1,37	1,17	1,04	0,925	0,845	0,786	0,737	0,709
1,20	1,33	1,11	0,926	0,792	0,666	0,567	0,486	0,411
1,25	1,31	1,09	0,896	0,743	0,624	0,509	0,434	0,358
1,30	1,36	1,13	0,94	0,79	0,662	0,561	0,472	0,394
1,40	1,69	1,47	1,30	1,16	1,05	0,964	0,896	0,839
1,50	2,74	2,41	2,13	1,89	1,70	1,61	1,52	1,43
1,60	4,82	4,16	3,62	3,11	2,75	2,46	2,21	2,02
1,70	9.41	7,67	6,25	5,12	4,23	3,57	3,07	2,71

Нагрѣваніе часто бываетъ очень сильное, въ особенности въ машинахъ динамо и вообще при токахъ высокаго напряженія, иногда до точки краснаго каленія проволокъ и причиняетъ пожары или разрушеніе индиктируемыхъ частей машинъ. Это происходитъ отъ превращенія въ теплоту того количества работы, которое не превратилось въ электрическій токъ и которое составляетъ потерю полезнаго дѣйствія.

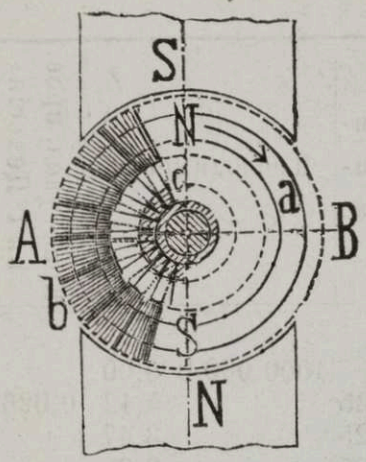
Проводящая способность жидкостей, отнесенная къ проводимости серебра (Бекерель).

ВЕЩЕСТВА.	Плотность.	Температура.	Проводимость.	Коэф. увел. пров. на 1^0 Цельсія.	Примѣчанія.
Серебро	„	6^0	1000.000.000,00		
Насыщенный растворъ мѣднаго купороса.	1,1707	$9^0,25$	5,42	0,0263	
Растворъ, разбавлен. до двойнаго объема.	„	$9^0,25$	3,47		
„ „ до учетвере. объема.	„	$9^0,25$	2,08		
Насыщенный растворъ хлористаго натрія.	„	$13^0,40$	31,52		
Растворъ, разбавлен. до удвоенна. объема.	„	„	23,08		
„ „ тройнаго „	„	„	17,48		
„ „ четвернаго „	„	„	13,58		
Насыщенный растворъ двухлористой мѣди.	„	„	10,35		
„ „ азотнокислой „	1,6008	$13^0,00$	8,995		
Растворъ, разбавленный до $^3/_2$ объемовъ.	„	„	16,208		Ма-
„ „ 2 „	„	„	17,073		кси-
„ „ 4 „	„	„	13,442		мумъ
Насыщенный растворъ цинковаго купороса	1,4410	$14^0,40$	5,77	0,0223	
Растворъ, разбавленный до 2 объемовъ.	„	„	7,13		Мак
„ „ 4 „	„	„	5,43		
250 гр. воды и 30 гр. іодистаго калія. .	„	$12^0,50$	11,20		
220 гр. воды и 20 гр. сѣрной кислоты .	„	$19^0,00$	88,68		
Продажная азотная кислота въ 80^0 . .	„	$13^0,10$	93,77	0,0263	
30 гр. полухлористаго мышьяка . . .	„	$15^0,00$	112,01		
120 гр. воды					
100 гр. хлористоводородной кислоты . .					

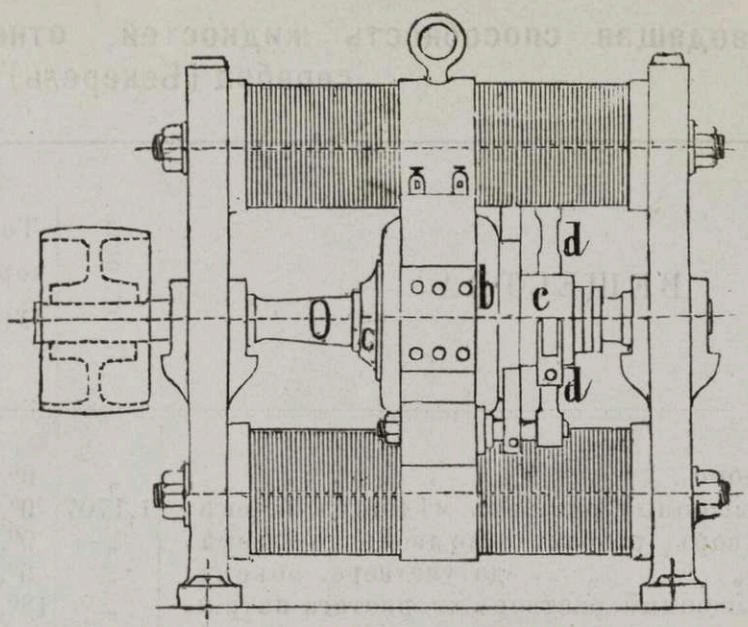
219. Машины динамо-электрическія или динамо-машины. Основаны на произведеніи индуктированныхъ (или наведенныхъ) токовъ и состоятъ: 1) изъ индукторовъ,—очень сильныхъ электро-магнитовъ 2) изъ индуктируемой части,—катушки, на желѣзной части коей намотана проволока, въ которой развиваются токи. Одинъ изъ этихъ двухъ элементовъ подвиженъ и приводится въ движеніе какимъ нибудь двигателемъ. Обыкновенно токъ проволокъ индуктируемой части непрерывно реверсируется чрезъ поперемѣнное дѣйствіе индукціи и постоянный же токъ въ проводникахъ получается спеціальнымъ расположеніемъ (т. е. помощію коллектора). Нѣкоторыя машины устраиваются для доставленія перемѣнныхъ токовъ въ проводникахъ.

Существуетъ большое число системъ динамо-машинъ, произведенныхъ изъ машины Грамма.

Машина Грамма. Подвижная часть, въ которой развиваются индуктированные токи, образуетъ кольцо небольшой высоты изъ мягкаго желѣза (желѣзная проволока), служащее сердцевиною для катушечекъ изъ мѣдной проволоки, изолированныхъ одна отъ другой. На фиг. 734, *a*, есть кольцо, *b* катушечки. Кольцо насажено на валъ *O* (фиг. 735), приводится въ движеніе какимъ-нибудь двигателемъ и вращается между полюсами *S* и *N* двухъ электро-магнитовъ. При этомъ движеніи, желѣзо кольца намагничивается черезъ вліяніе и непрерывно представляетъ сѣ-



фиг. 734.



фиг. 735.

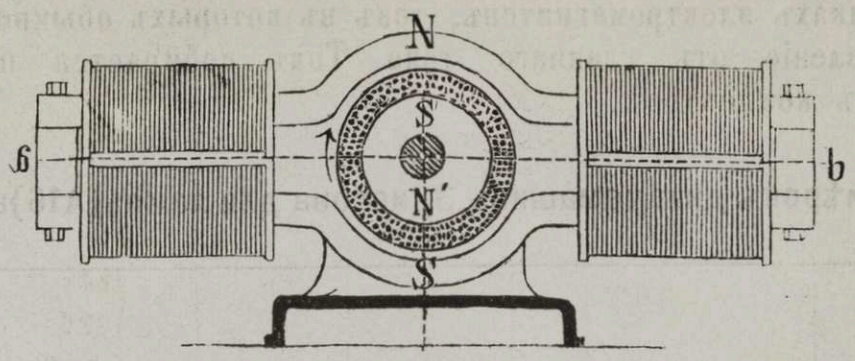
верный полюсъ въ N^1, южный полюсъ въ S^1 (фиг. 734), откуда получается, что въ катушкѣ b, выходящей отъ A и идущей къ B, напримѣръ мимо N^1, развивается токъ, который, возрастая отъ нуля, достигаетъ въ N^1 наибольшей величины и снова дѣлается нулемъ въ B. Линія AB есть линія нейтральная, и токи, произведенные выше этой линіи, по направленію противоположны токамъ, произведеннымъ ниже ея.

Вокругъ оси расположены металлическіе радіальные изолированные бруски c, совокупность коихъ образуетъ цилиндръ; каждый изъ брусковъ примыкаетъ къ выступающему концу одной катушки и ко входящему концу другой катушки, такъ чтобы образовалась непрерывная цѣпь. Двѣ металлическія щетки d, расположенныя на двухъ сторонахъ вала и на линіи AB, прикасаются къ оконечностямъ брусковъ, и собираютъ токи двухъ половинъ кольца, которое тогда образуетъ какъ-бы двѣ батареи, работающіе вмѣстѣ. При вращеніи кольца щетки налегаютъ послѣдовательно на всѣ бруски, которые проходятъ одинъ за другимъ въ нейтральной плоскости AB, и служатъ мгновенными полюсами. Борны (зажимы) машины, на которыхъ принимаютъ токъ, состоятъ въ непосредственномъ сообщеніи съ щетками.

Діаметръ проволокъ обмотки выбирается смотря по надобности. Если цѣпь (наружныя въ машинѣ) имѣетъ большое сопротивленіе, то берутъ проволоку длинную и тонкую для катушекъ, чтобы получить высокое напряженіе или электро-возбудительную силу. Напротивъ, если сопротивленіе слабое и если добиваются большей интенсивности, проволока должна быть короткая и большаго діаметра, иногда берутъ даже небольшіе плоскіе бруски.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ катушки кольца распредѣляются въ два поперемѣнные ряда и валъ имѣетъ два коллектора; съ каждой стороны кольца находится тогда пара щетокъ, каждая собираетъ токъ съ одной серіи катушекъ. Тогда можно употреблять эти серіи отдѣльно или соединять ихъ либо для напряженія, либо для количества.

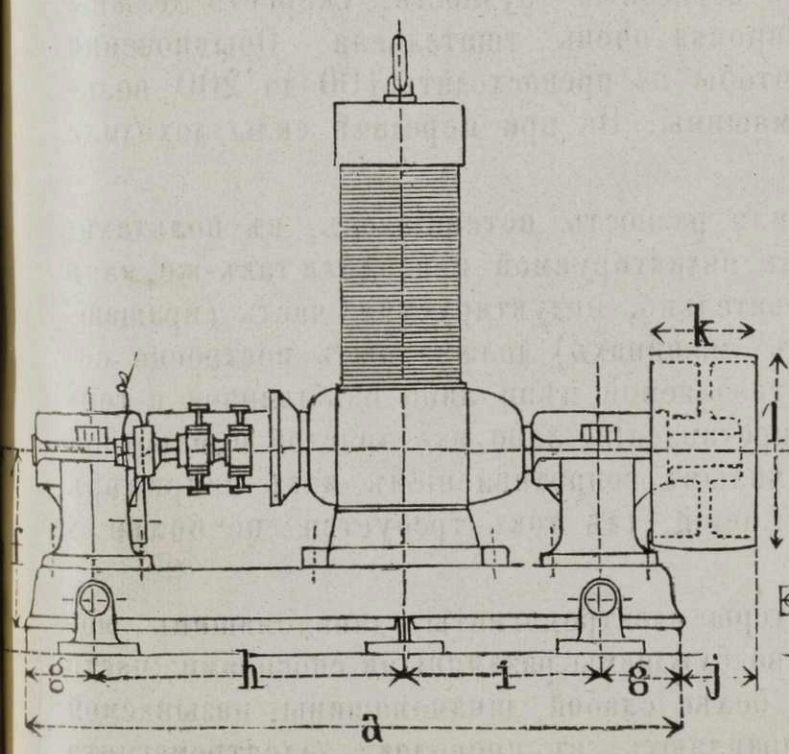
Машина Сименса. Объясняютъ такъ, что въ машинѣ Грамма части проволоки катушечекъ, находящіяся внутри вращающагося кольца,



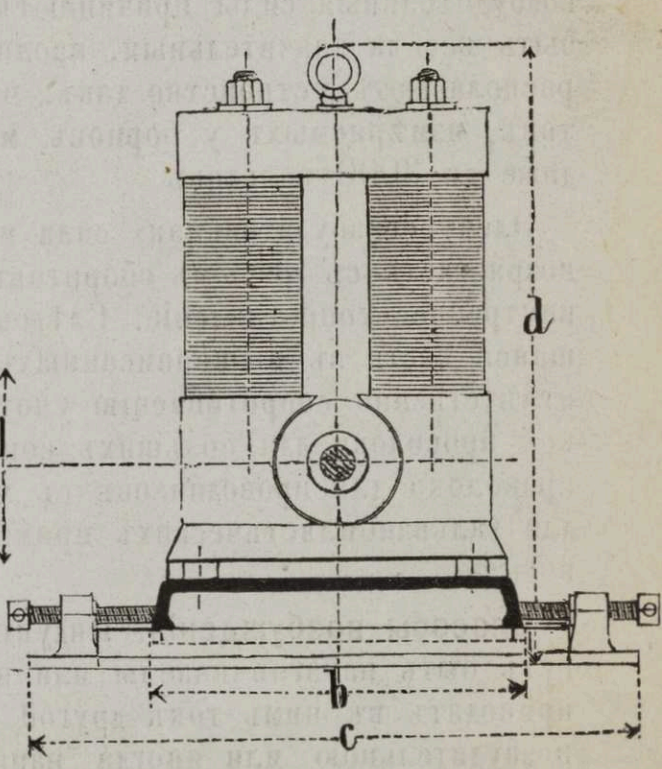
фиг. 736.

могутъ быть слабо подвержены вліянію полюсовъ магнитовъ и въ нихъ проявляется токъ въ обратномъ направленіи, который уменьшаетъ главный токъ. Далѣе эти части проволоки вводятъ въ цѣпь вредное сопротивленіе. Чтобы избѣжать этихъ неудобствъ, Сименсъ помѣстилъ проволоки по образующимъ на пустотѣломъ желѣзномъ цилиндрѣ, собранномъ на валѣ и намоталъ ихъ такимъ образомъ, что послѣдовательныя вѣтви находятся на образующихъ діаметрально противоположныхъ. Желѣзный цилиндръ играетъ роль кольца Грамма изъ желѣзной проволоки и оканчивается на концѣ пластинчатымъ коллекторомъ (собирателемъ) съ щетками, какъ и прежде. Фиг. 736 представляетъ упрощенный разрѣзъ машины Сименса. Послѣдовательные полюсы электромагнитовъ образованы изъ брусковъ, которые обхватываютъ двѣ стороны цилиндра. Линія *ab* есть плоскость сообщенія или нейтральная линія, на которой помѣщены щетки.

Машина Эдиссона (фиг. 737 и 738). Индуктируемый барабанъ построенъ почти такъ-же, какъ уСименса, но часто проволоки замѣняются мѣдными брусками, которые сообщаются между собою поперечными кругами (дисками), къ которымъ они прикрѣплены. Этотъ барабанъ вращается между двумя полярными массами, въ имѣющихся полу цилиндри-



фиг. 737.



фиг. 738.

ческихъ выемкахъ электромагнитовъ, токъ въ которыхъ обыкновенно идетъ чрезъ отвѣтвленіе отъ главнаго тока. Токъ собирается щетками, на пластинчатомъ коллекторѣ.

Таблица размѣровъ динамомашинъ Эдиссона для лампъ (A16) въ 16 свѣчей.

Число лампъ.	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*	*j*	*k*	*l*	Вѣсъ.	Число оборотовъ въ минуту.
25	718	516	882	775	222	190	101.5	295	220	82	90	180	350 кг.	1500
50	920	590	882	915	277	245	130,0	410	250	100	110	225	480 кг.	1500
100	1095	600	1080	888	325	290	81,5	562	370	175	180	250	„	1200
300	1820	1020	1390	1625	530	465	185,0	850	600	245	228	355	„	900

Сопротивленіе арматуры=0,42 ома на 25 лампъ; 0,19 на 50 лампъ; сопротивленіе электро-магнита=0,90 ома въ этихъ двухъ типахъ.

Дѣйствіе динамомашинъ. Всѣ эти машины работаютъ при очень большихъ скоростяхъ (обыкновенно 700 до 1500 оборотовъ въ минуту); но онѣ заключаютъ въ себѣ только одну движущуюся часть, уравновѣшенную по самой ея формѣ и расходующую при хорошихъ подшипникахъ мало силы на треніе. По Сименсу коеффиціентъ полезнаго дѣйствія хорошо установленныхъ динамо машинъ, по отношенію къ электричеству, достигаетъ 0,90; а коеффиціентъ полезнаго дѣйствія произведеннаго тока, по отношенію къ свѣту, можетъ достигать той же цифры.

Какъ очень высокія давленія для жидкостей, такъ очень большія электровозбудительныя силы причиняютъ серьезныя трудности; скорости должны быть весьма значительныя, изолировка очень тщательная. Обыкновенно располагаютъ устройство такъ, чтобы не превосходить 100 до 200 вольтовъ, измѣряемыхъ у борновъ машины. Но при передачѣ силы доходили даже до 3000 вольтовъ.

Электровозбудительная сила или разность потенціаловъ, въ вольтахъ, возрастаетъ съ числомъ оборотовъ индиктируемой проволоки такъ-же, какъ внутреннее сопротивленіе. Слѣдовательно, индуктируемая часть (вращающаяся часть въ вышеописанныхъ машинахъ) должна быть построена соотвѣтственно сопротивленію употребляемой цѣпи либо изъ длинной и тонкой проволоки для большихъ сопротивленій, либо изъ толстой и короткой проволоки дла проводниковъ съ малымъ сопротивленіемъ, какъ напримѣръ для гальванопластическихъ примѣненій, гдѣ токъ требуется не болѣе 8 вольтъ.

Способы возбужденія. Индукторы электромагниты динамомашинъ могутъ быть намагничиваемы или возбуждаемы различными способами; часто приводятъ къ нимъ токъ другой болѣе слабой динамомашины, называемой возбудительною или иногда направляютъ въ проволоку электромагнита токъ, происходящій отъ самой динамомашины, которая тогда называется

самовозбуждающеюся. Въ этомъ случаѣ первый токъ, при началѣ движенія, производится чрезъ слабое намагничиваніе, которое всегда содержитъ желѣзныя массы магнитовъ; эти послѣдніе немедленно усиливаются токомъ и эти два дѣйствія постоянно увеличиваются до нѣкотораго предѣла, который зависитъ отъ скорости вращенія и отъ возрастающаго сопротивленія, представляемаго магнитами вращенію индуктируемой части или другими словами отъ увеличивающейся работы, которая поглащена и превращается въ электричество по мѣрѣ того, какъ магниты усиливаются.

Динамомашины съ послѣдовательной группировкой (называемыя серія-динамо). Въ этихъ машинахъ пускаютъ токъ индуктируемаго кольца въ электромагниты, прежде чѣмъ направить его въ цѣпь, такъ что индукторъ и индуктируемая часть образуютъ съ внѣшнею цѣпью одну послѣдовательную цѣпь между двумя щетками. При такомъ расположеніи интенсивность тока измѣняется обратно пропорціонально сопротивленію, ибо когда сопротивленіе увеличивается, токъ ослабѣваетъ и вслѣдствіе этого и энергія электромагнитовъ.

Динамомашины съ параллельной группировкой (съ отвѣтвленіемъ, называемыя шунтъ-динамо). Вращающееся кольцо или индуктируемая часть образуетъ полную цѣпь съ наружнымъ проводникомъ и въ этой цѣпи, напримѣръ у борновъ машины, берутъ отвѣтвленіе для проволоки электро-магнита, который находится такимъ образомъ соединеннымъ съ главною цѣпью. Если сопротивленіе въ этой цѣпи увеличивается, интенсивность тока въ ней уменьшается, но вслѣдствіе этого интенсивность увеличиваетъ въ отвѣтвленіи, что заставляетъ возрастать энергію магнитовъ индукторовъ такъ, что интенсивность тока измѣняется менѣе во внѣшней цѣпи.

Компаундъ-динамо машины или съ двойною обмоткою (смѣшанная группировка т. е. состоящая изъ серіи и шунта). Электромагниты обвернуты двумя проволоками,—одна тонкая, въ которой проходитъ токъ отвѣтвленный; другая толстая, въ которую пускаютъ токъ внѣшней цѣпи. На основаніи опыта пришли къ опредѣленію для каждой изъ проволокъ такихъ діаметровъ или длинъ, что въ извѣстныхъ предѣлахъ сопротивленія электровозбудительная сила сохраняется постоянною.

Электровозбудительная сила динамо-машины. Электровозбудительная сила, развиваемая въ индуктируемомъ кольцѣ, равняется разности потенціаловъ, если индукторы возбуждаются чрезъ отвѣтвленіе, при чемъ потенціалы измѣряются у борновъ (зажимовъ) машины. Но она бываетъ больше этой разности, когда магниты возбуждаются послѣдовательно, такъ какъ часть энергіи тока расходуется въ цѣпяхъ, окружающихъ магниты.

Машины съ поперемѣнными токами. Во вращающемся кольцѣ послѣдовательные токи, развиваемые въ проволокѣ, имѣютъ въ дѣйствительности противоположныя направленія поперемѣнно по отношенію къ проволокѣ; они дѣлаются постоянными чрезъ расположеніе коллекторовъ. Строятъ машины, въ которыхъ это выпрямленіе не имѣетъ мѣста и гдѣ токи постоянно мѣняются до 130 разъ въ секунду. Эти машины употребляются для освѣщенія лампами съ дугой, и иногда для лампъ накаливанія.

Въ машинахъ Грамма электромагниты, будучи поперемѣнно съ противоположными полюсами, устанавливаются вокругъ вала и вращаются внутри ряда катушекъ. Въ машинахъ Сименса индуктируемыя катушки вращаются вмѣстѣ съ валомъ между двумя рядами неподвижныхъ магнитовъ индукторовъ.

220. Передача работы помощію электричества. Если вводить токъ въ динамо машину чрезъ главные борны, эта машина начинаетъ вращаться и можетъ служить двигателемъ.

Слѣдовательно для передачи работы надо имѣть двѣ динамо-машины, соединенныя проводникомъ. Одна изъ нихъ, называемая источникомъ, приводится въ движеніе какимъ нибудь двигателемъ и пускаетъ токъ въ другую динамо-машину, называемую пріемникомъ, которая составляетъ второй двигатель, ведущій какой-нибудь приводъ помощію ея ремня. Разстояніе между источникомъ и пріемникомъ можетъ быть весьма значительное. Во время работы тока машины вращаются по противоположнымъ направленіямъ. Когда передача установилась, сила тока дается формулою:

$$J = \frac{\text{разность электровозбудительныхъ силъ двухъ машинъ}}{R \text{ источника} + R \text{ проводниковъ} + R \text{ пріемника}}.$$

Эта интенсивность не зависитъ отъ электровозбудительной силы и если ускорить источникъ, то и пріемникъ ускоряется. Слѣдовательно интенсивность тока зависитъ только отъ преодолѣваемаго усилія.

Если E и E^1 электровозбудительныя силы источника и пріемника въ вольтахъ, J интенсивность тока въ амперахъ, то произведенная пріемникомъ работа въ килограмметрахъ будетъ $E^1J : 9{,}81$. Наибольшая величина имѣетъ мѣсто при $E^1 = 0{,}5E$; она равна 50%.

Цыфры полезнаго дѣйствія, доставляемыя опытомъ, измѣняются отъ 30 до 40%. Не смотря на это, электрическая передача работы можетъ быть весьма полезна для перенесенія движущей силы въ мѣстности, гдѣ установка двигателя слишкомъ трудна или для перенесенія въ заводъ работы, доставляемой двигателемъ, построеннымъ въ мѣстности недоступной и очень отдаленной и т. д.

221. Электрическое освѣщеніе. Употребляются двѣ главныя системы: лампы съ дугою (вольтова дуга между двумя углями) и лампы съ накаливаніемъ (угольное волокно, доведенное до раскаленія въ пустотѣ чрезъ прохожденіе тока).

Лампы съ дугою даютъ свѣтъ очень бѣлый и интенсивный, пригодный для освѣщенія большихъ мастерскихъ, улицъ, станцій и т. д., тогда какъ накаливаніе болѣе принаравливается къ слабымъ свѣтовымъ силамъ и должно быть предпочитаемо, когда нужно большое число свѣтовыхъ пунктовъ. Свѣтъ лампъ съ накаливаніемъ желтоватый и гораздо менѣе утомителенъ для зрѣнія.

Допускаютъ, что одна лампа съ дугой, требующая около 8 амперовъ, достаточна для пространства въ 200 до 300 кв. м. Освѣщеніе одною лампою бываетъ плохое, такъ какъ тѣни слишкомъ сильны.

Интенсивность освѣщенія считается въ свѣчахъ (см. стр. 585). Англійская свѣча (candle) равняется 0,879 французской свѣчи; нѣмецкая свѣча (kerze) равна 0,855.

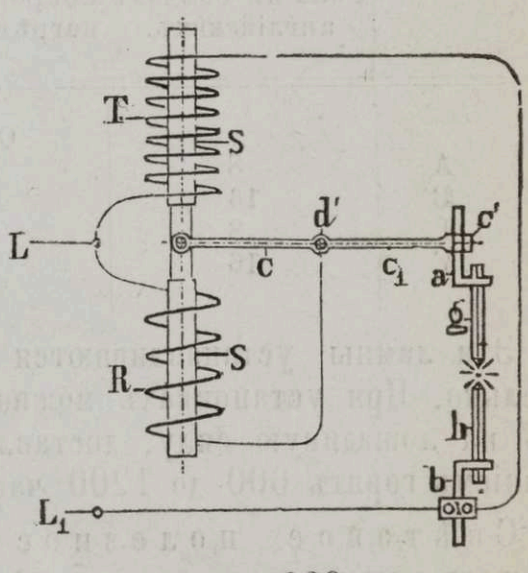
Существуетъ большое число системъ лампъ.

Лампы съ дугой. Можно допускать, въ видѣ средней свѣтовой силы, 1200 до 1300 свѣчъ, такъ какъ интенсивность тока 8 до 10 амперовъ, а паденіе потенціала у борновъ лампы 45 до 60 вольтовъ. Каждая лампа поглощаетъ работу въ одну паровую лошадь, доставленную динамомашинамъ.

Свѣчи Яблочкова суть особенное расположеніе лампъ съ дугою, весьма простое, дѣйствующее безъ всякаго регулятора.

Лампы съ дугою упрекаютъ въ перемежаемости или мгновенныхъ затменіяхъ. Сильный блескъ свѣтоваго пункта чаще всего принуждаетъ окружать его шаромъ изъ матоваго стекла, которое значительно уменьшаетъ силу свѣта. Лампы съ дугою требуютъ непрерывнаго возобновленія углей, которые горятъ лишь нѣсколько часовъ.

Переходъ электрическаго тока и поддержаніе этой свѣтовой дуги производится перенесеніемъ оторвавшихся частичекъ угля, частью осѣдающихъ на одномъ концѣ угля, частью же сгорающихъ. Вслѣдствіе этого разстояніе между углями измѣняется, т. е. становится больше и чтобъ сохранять постоянной силы свѣтовую дугу необходимо угли опять постепенно сближать. Это условіе легко выполнилъ русскій инженеръ Яблочковъ. Онъ укрѣпляетъ двѣ палочки угля въ разстояніи около 3 мм. и наполняетъ заключающійся между ними промежутокъ такимъ веществомъ, которое въ холодномъ состояніи дѣйствуетъ изолирующимъ образомъ, въ накаленномъ же оно является хорошимъ проводникомъ электричества. При пропусканіи тока это вещество сгораетъ вмѣстѣ съ углями и увеличиваетъ еще болѣе свѣтовой эффектъ. Механизмы для удержанія углей въ одномъ и томъ же разстояніи конструированы Серреномъ, Фуко и Дюбоскомъ, Соттеромъ, Лемонье и К°, Сименсомъ и Гальске и др. Достаточно будетъ привести здѣсь описаніе принципа одной изъ новѣйшихъ лампъ, именно: дифференціальная лампа Сименса и Гальске въ Берлинѣ (фиг. 739). a и b представляютъ угольные оправы, g и h угольныя палочки; cc, рычагъ, вращающійся около точки d. Въ c^1 оправа a соединена съ частью c_1 рычага. Это соединеніе таково, что оно, при самомъ низкомъ положеніи плеча e, расцѣпляется; при этомъ оправа a падаетъ на нижнюю угольную палочку; паденіе оправы регулируется небольшимъ механизмомъ съ 2 маятниками. На другомъ концѣ рычага cc, находятся 2 желѣзныхъ стержня SS, вокругъ которыхъ намотаны на катушкахъ проволоки R и T; катушка R проводитъ токъ къ верхнему угольному электроду. Другая катушка обмотана болѣе тонкой длинной проволокой, проводящей токъ въ нижнюю оправу. Такъ какъ эта подвижная система вполнѣ уравновѣшена, то и регулированіе вольтовой дуги зависитъ отъ дифференціальнаго дѣйствія обоихъ токовъ въ катушкахъ. Дѣйствіе тока слѣдующее: при замыканіи его, онъ проходитъ по тонкой



фиг. 739.

проволочкѣ T, такъ какъ онъ въ ней встрѣчаетъ меньшее сопротивленіе; при этомъ угли могутъ находиться въ любомъ разстояніи между собою. Катушка T вслѣдствіе этого втягиваетъ стержень S и приводитъ плечо c_1 рычага cc_1 въ его нижнее положеніе, пока оба угольныхъ электрода не встрѣтятся. Въ этотъ моментъ въ вѣтви T находится весьма слабый токъ, который тогда направляется въ обороты R. Вслѣдствіе этого стержень катушки R втягивается внизъ, а плечо c_1 поднимается вверхъ; въ первый моментъ этого восходящаго движенія угольки расходятся и появляется электрическій свѣтъ. Послѣ этого угольныя палочки понемногу сгараютъ, но длина дуги все таки остается одна и та же, вслѣдствіе устанавливающагося равновѣсія при соотвѣтственно высокомъ положеніи желѣзнаго стержня.

Положительный электродъ вдвое скорѣе сгораетъ, чѣмъ отрицательный. Это по всей вѣроятности происходитъ вслѣдствіе того, что положительный электродъ нагрѣвается болѣе отрицательнаго. Чтобы достигнуть одинаковаго сгаранія заставляютъ токъ, производимый электромагнитной машиной, постоянно мѣнять свое направленіе. Для сей цѣли пользуются перемѣнными токами.

Лампа солнце есть лампа съ дугой, въ которой дуга получается на днѣ выемки, сдѣланной въ кускѣ магнезіи или мрамора. Твердый матеріалъ доводится до накаливанія и регулируетъ блескъ. Свѣтъ имѣетъ желтоватый оттѣнокъ и не утомляетъ глаза.

Лампы съ накаливаніемъ. Обыкновенно ихъ дѣлаютъ въ 8 или 16 свѣчей; онѣ состоятъ изъ стекляпаго пузыря, изъ котораго выкаченъ весь воздухъ (получена пустота) и который заключаетъ угольное волокно (получаемое изъ бамбука, плетешка хлопчатой бумаги или бристольскаго картона) въ видѣ буквы И или М или въ видѣ спирали.

Вотъ цифры, относящіяся къ лампамъ наиболѣе употребительнымъ.

	Сила въ свѣчахъ англійскихъ.	Сопротивленіе въ нагрѣтомъ видѣ.	Разность потенціаловъ у борновъ.	Интенсивность тока.	
		Омовъ.	Вольтовъ	Амперовъ.	
A	8	94	50	0,53	Эдисона
B	16	189	100	0,53	
I	8	96	50	0,52	Сименса.
IV	16	196	100	0,51	

Эти лампы устанавливаются большею частію въ отвѣтвленіи—параллельно. При установкахъ можно считать около 12 лампъ A или 22 лампъ B на лошадиную силу, доставляемую динамо-машинѣ. Лампы съ накаливаніемъ горятъ 600 до 1200 часовъ освѣщенія, среднимъ числомъ 800.

Свѣтовое полезное дѣйствіе. Въ практикѣ паровая лошадь можетъ производить свѣтъ:

15 до 30 карселей при лампахъ съ накаливаніемъ въ пустотѣ;
50 „ „ свѣчахъ Яблочкова и подобныхъ ей;
200 „ 350 „ „ лампахъ съ дугою, смотря по ихъ силѣ.

Свѣтъ стоитъ стало быть тѣмъ дороже, чѣмъ болѣе онъ раздробленъ (Карсель равна 6,5 стеариновыхъ свѣчей; или 7,4 англійскихъ свѣчей).

Слѣдовательно электрическій свѣтъ не выгоденъ, если должно установить спеціальный двигатель; но общій случай заводовъ есть тотъ, когда движущую работу для динамомашинъ берутъ отъ заводскаго достаточно сильнаго двигателя. Расходъ тогда весьма малъ, въ особенности когда машина работаетъ съ перемѣннымъ расширеніемъ отъ регулятора.

Одинъ изъ наиболѣе благопріятныхъ случаевъ будетъ тотъ, когда имѣется водяная сила; тогда можно поставить турбину, часто на самомъ валѣ динамомашины, и пускаютъ въ нее воду только во время освѣщенія.

Примѣчаніе. Измѣненія силы движителя часто бываютъ весьма замѣтны въ блескѣ лампъ, гдѣ различаютъ пульсаціи, напримѣръ при каждомъ ходѣ поршня паровой машины. Для устраненія этого неудобства, нуженъ тяжелый маховикъ, наклиненный на промежуточномъ валѣ, который предшествуетъ динамомашинѣ въ передачѣ. Этотъ маховикъ, имѣя обточенный ободъ, служитъ передаточнымъ шкивомъ. Вышеупомянутое неудобство часто проявляется даже при турбинахъ, когда онѣ работаютъ подъ большимъ напоромъ и когда шагъ направляющихъ лопатокъ одинаковъ съ шагомъ движущихся лопатокъ.

При гидравлическомъ двигателѣ легко установить въ заводахъ, удаленныхъ отъ населенныхъ центровъ, или въ небольшихъ горныхъ городкахъ освѣщеніе по крайней мѣрѣ столь-же хорошее, какъ и газовое, но гораздо болѣе дешевое. Употребленіе (очень частое) локомобилей для этой работы невыгодно вслѣдствіе ихъ большаго расходованія топлива и по причинѣ недостаточной равномѣрности ихъ вращенія.

222. Сравнительная стоимость разнаго рода освѣщенія. Изъ всѣхъ употребительныхъ способовъ освѣщенія самымъ дешевымъ оказывается керосиновое освѣщеніе при помощи лампъ новѣйшаго типа (съ центральною вентиляціею)=0,027 коп. въ часъ на 1 свѣчу, считая керосинъ 4 коп. за фунтъ (въ настоящее время въ Петербургѣ); потомъ—освѣщеніе карбурированнымъ водянымъ газомъ=0,031 коп. (на основаніи изслѣдованій С. Ламанскаго); далѣе керосиновое освѣщеніе при помощи лучшихъ лампъ прежняго типа=0,034 коп.; затѣмъ по порядку слѣдуютъ: освѣщеніе нефтянымъ газомъ=0,044 коп., пиронафтомъ=0,05 коп. (при 5 коп. за 1 фунтъ), обыкновеннымъ свѣтильнымъ (каменноугольнымъ) газомъ=0,086 коп., электричествомъ (общество электрическаго освѣщенія въ Петербургѣ)=0,218 коп. и стеариномъ=0,688 коп. Что касается электрическаго освѣщенія, то, какъ уже сказано было выше, стоимость его различна, смотря по способу его полученія и примѣненія: при производствѣ электрическаго освѣщенія собственными средствами въ достаточномъ количествѣ оно обходится около 0,075 коп. за свѣчу въ часъ, а при готовыхъ двигателяхъ или при добываніи его въ обширныхъ размѣрахъ становится вдвое и даже вчетверо дешевле газоваго, т.-е. даже почти дешевле керосиноваго освѣщенія. Для сужденія о стоимости маслянаго освѣщенія не имѣется данныхъ.

223. Гигіена освѣщенія. Въ гигіеническомъ отношеніи необходимо, вопервыхъ, чтобы освѣщеніе было вполнѣ достаточное, т.-е. позволяло-бы различать предметы, читать и проч. безъ *всякаго напряженія* зрѣнія; во-вторыхъ, оно должно быть, по возможности, *ровное* (безъ мерцаній и рѣзкихъ колебаній) и, наконецъ, приспособлено такъ, чтобы *источникъ*

свѣта былъ *не видимъ для глазъ*. Поэтому, при работѣ у лампы и т. п., на лампу долженъ быть надѣтъ абажуръ, сосредоточивающій свѣтъ на работу, но вполнѣ закрывающій источникъ свѣта отъ глазъ. Для освѣщенія цѣлой комнаты лучше всего *разсѣянный свѣтъ*, т. е. свѣтъ, при помощи контръ-абажуровъ, отражаемый вверхъ и въ стороны и оттуда уже вновь отражаемый (большими снизу свѣтлыми абажурами, свѣтлыми потолками и стѣнами) и разсѣеваемый по всей комнатѣ. Разсѣянія свѣта можно достигнуть и при помощи матовыхъ или молочныхъ шаровъ, надѣваемыхъ на источникъ свѣта; но въ этомъ послѣднемъ случаѣ разсѣяніе свѣта не столь полное и менѣе пріятно для глазъ, чѣмъ въ первомъ. Что освѣщеніе должно, по возможности, меньше портить воздухъ, не коптить, не сопровождаться запахомъ и т. п.—понятно само собою.

224. Новые освѣтительные приборы, сжигающіе пульверизованный, сжатый воздухомъ, керосинъ и дающіе сильное и яркое освѣщеніе. 1) Люсижень—лампа состоитъ изъ прочнаго желѣзнаго сосуда цилиндрической формы съ керосиномъ или нефтью, въ которомъ, при помощи воздушнаго насоса, приводимаго въ движеніе силою двухъ рабочихъ или силою паровой машины, воздухъ сгущается отъ трехъ до пяти атмосферъ. Подъ вліяніемъ этого давленія, керосинъ, проходя по вертикально установленной трубкѣ, попадаетъ въ особую горѣлку, пульверизуется и съ силою выбрасывается столбомъ керосиновой пыли около аршина вышины и 5 вершк. ширины. Освѣщеніе получается чрезвычайно яркое, и двухъ-трехъ приборовъ достаточно для обширнаго вагоннаго парка и желѣзно-дорожныхъ путей. 2) Уэльзъ—лампа состоитъ изъ прочнаго закрытаго со всѣхъ сторонъ цилиндрическаго сосуда изъ котельнаго желѣза, въ которой примѣрно до $^2/_3$ высоты наливается керосинъ. Въ сосудъ пропущена черезъ верхнюю крышку почти до самаго дна металлическая трубка, выступающая аршина на 2 надъ крышкой прибора и снабженная на верху чрезвычайно простой горѣлкой. Въ сосудѣ кромѣ того помѣщенъ небольшой насосъ съ рукояткой для накачиванія воздуха и маленькій манометръ, показывающій давленіе воздуха въ приборѣ. Въ лампу вливается около 3-хъ пудовъ керосина, послѣ чего упомянутымъ ручнымъ насосомъ накачивается въ нее воздухъ въ продолженіи 5—8 минутъ; давленіе доводится до одной съ небольшимъ атмосферы (20—25 фунтовъ); керосинъ расходуется крайне медленно и сохраняется въ продолженіи 8—10 часовъ. Передъ зажиганіемъ лампы необходимо нѣсколько разогрѣть горѣлку, которая представляетъ собою нѣсколько кольцеобразно расположенныхъ пустыхъ каналовъ съ маленькимъ отверстіемъ на концѣ (горѣлка отлита изъ чугуна). При открываніи крана, керосинъ устремляется по трубкѣ въ горѣлку и, попадая въ разогрѣтые каналы, моментально обращается въ парообразное состояніе и зажигается отъ прикосновенія спички. Сильное пламя, длиною около аршина, выбрасывается изъ горѣлки въ горизонтальномъ направленіи; горѣніе происходитъ при всякой погодѣ, зимой во вьюгу, лѣтомъ при дождѣ.

Лампы системы Уэльзъ не требуютъ машины для накачиванія въ нихъ воздуха: достаточно рукою накачать въ теченіе 5 минутъ воздухъ, чтобы горѣніе продолжалось всю ночь. Сила свѣта ихъ отъ 2,000 до 3,000 свѣчей. Устройство чрезвычайно просто и прочно, уходъ за ними можетъ быть порученъ простому чернорабочему, ибо для этого не требуется ни-

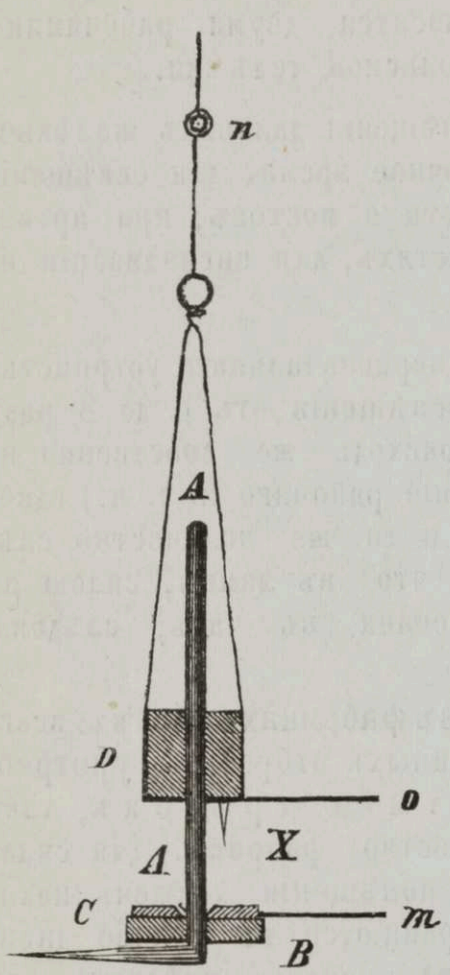
какой технической подготовки; онѣ легко переносятся двумя рабочими перевозятся однимъ, при помощи особой двухколесной телѣжки.

Лампы эти могутъ имѣть примѣненіе для освѣщенія дальнихъ желѣзнодорожныхъ станцій—при посадкѣ войскъ въ ночное время, для освѣщенія спѣшныхъ ночныхъ работъ, при исправленіи пути и мостовъ, при артилерійскихъ и инженерныхъ работахъ въ крѣпостяхъ, для сигнализаціи на дальнее разстояніе и т. п.

Оказывается, между прочимъ, что стоимость первоначальнаго устройства всѣхъ приспособленій для электрическаго освѣщенія отъ 6 до 8 разъ превосходитъ стоимость испытанныхъ лампъ, расходъ же собственно на эксплоатацію ихъ (керосинъ, ремонтъ, содержаніе рабочаго и т. п.) вдвое меньше, чѣмъ при лампахъ Сименса—въ одно и то же количество свѣчей. Можно принять приблизительно за норму, что въ лампѣ, силою въ 2,000 свѣчей, сгораетъ до 7—8 фунтовъ керосина въ часъ, слѣдовательно, на 20—25 коп.

225. Приспособленія для устраненія пожара въ фабрикахъ. Прежде всего слѣдуетъ обратить вниманіе на сохраненіе масляныхъ отбросовъ, употребленныхъ обтирочныхъ концовъ, ваты и тряпокъ, такъ какъ отъ этихъ матеріаловъ уже сгорѣло множество фабрикъ. Для складыванія этихъ отбросовъ въ каждомъ рабочемъ помѣщеніи долженъ находиться желѣзный ящикъ, въ которомъ они сохраняются въ теченіе дневнаго и рабочаго времени; но предъ окончаніемъ работы слѣдуетъ эти ящики опорожнить и намасленный матеріалъ сложить въ безопасное отъ огня мѣсто. Такъ какъ онъ все таки еще имѣетъ нѣкоторую цѣнность, то стремятся избѣжать самовозгоранія этихъ отбросовъ; всего лучше облить ихъ воднымъ растворомъ минеральной соли, напр. жидкимъ известковымъ молокомъ, чтобы всѣ части проникли растворомъ. Въ заведеніяхъ, снабженныхъ газовымъ освѣщеніемъ, при дѣйствіи коихъ приходится перемѣщать легко воспламеняющіяся вещества, сырые матеріалы или полуфабрикаты, какъ напримѣръ холсты чесальныхъ или трепальныхъ машинъ въ бумагопрядильняхъ, рекомендуется находящіеся на проходахъ газовыя горѣлки окружать предохранительными фонарями или рѣшетками изъ проволоки, которые устраняютъ соприкосновеніе воспламеняющихся веществъ съ горѣлками. Наконецъ здѣсь можно упомянуть также о приборахъ и приспособленіяхъ, пригодныхъ для указанія начинающагося въ фабричныхъ помѣщеніяхъ пожара, такъ что дѣлается возможнымъ болѣе легкое тушеніе его.

Изъ этихъ приборовъ, служащихъ какъ бы будильщикомъ или докладчикомъ о пожарѣ, прежде всего опишемъ приборъ Геерена (фиг. 740). Направляющій стержень AA изъ тонкаго круглаго желѣза, укрѣпленный на стѣнѣ, поддерживаетъ внизу кружокъ B изъ твердаго каучука, на которомъ укрѣплена свинцовая пластина C. Она изолирована каучуковымъ кружкомъ (хотя легко подвижна на немъ) отъ металлическаго стержня и соединена проволочнымъ проводникомъ m съ отрицательнымъ полюсомъ электрической баттареи. Надъ свинцовою пластиною виситъ тяжелый (около 0,5 клгр.) желѣзный грузъ D, который тоже направляется желѣзнымъ стержнемъ, соединенъ проволокою o съ положительнымъ полюсомъ баттареи и имѣетъ вызолоченную сталь-



Фиг. 740.

ную иглу X, которая при паденіи втыкается въ свинцовое кольцо. Къ потолку помѣщенія, въ которомъ поставленъ приборъ, этотъ грузъ подвѣшенъ помощію шнурка или проволоки такимъ образомъ, что въ верхнемъ концѣ онаго вставлено небольшое кольцо n изъ расплавляющагося при 63°Ц. сплава (3 ч. кадмія, 4 ч. олова, 15 ч. висмута и 8 ч. свинца). Какъ скоро это кольцо плавится отъ высокой температуры, грузъ D падаетъ и втыкаетъ стальную иглу X въ свинцовую пластину, чрезъ что происходитъ замыканіе электрическаго тока, который и приводитъ въ движеніе сигнальный приборъ въ комнатѣ швейцара или сторожа, либо на пожарной станціи.

Въ самодѣйствующемъ пожародокладчикѣ Брассера, который надежно указываетъ какъ быстро вспыхнувшій, такъ и медленно распространяющійся пожаръ, примѣнены двѣ цинковыя трубы, которыя для болѣе легкаго воспринятія теплоты окрашены снаружи ламповою сажею. Эти двѣ параллельныя трубки укрѣплены на чугунной плитѣ, а на ихъ верхнемъ концѣ раздѣлены одна отъ другой мѣдною полоскою, которая обыкновенно находится на нѣкоторомъ разстояніи отъ контактнаго винта. Винтъ соединенъ съ однимъ, а полоска съ другимъ полюсомъ баттарей, въ цѣпь которой вставленъ электрическій звонокъ. Одна трубка пустая, другая же наполнена саломъ и закрыта пробкою изъ печатнаго воска. Если происходитъ внезапное повышеніе температуры, то пустая на обоихъ концахъ открытая трубка хорошо воспринимаетъ теплоту извнутри и снаружи, слѣдовательно нагрѣвается и расширяется больше, нежели наполненная саломъ трубка, она изгибается и мѣдная полоска приходитъ въ соприкосновеніе съ контактивнымъ винтомъ, такъ что звонокъ даетъ сигналъ. Если, напротивъ, пожаръ распространяется тихо, то сначала теплота расширяетъ обѣ трубки одинаково, пока температура достигаетъ до точки плавленія сала (33°). Такъ какъ тогда сало плавится, то оно предупреждаетъ дальнѣйшее расширеніе трубки, въ коей оно содержится, тогда какъ пустая трубка расширяется еще дальше, искривляется, приводитъ полоску въ прикосновеніе съ контактнымъ винтомъ и звонокъ начинаетъ дѣйствовать. Регулированіе прибора очень просто и цѣна его 1 р. 60 к.; но сюда надо еще добавить расходъ на звонокъ, небольшую баттарею и проводникъ.

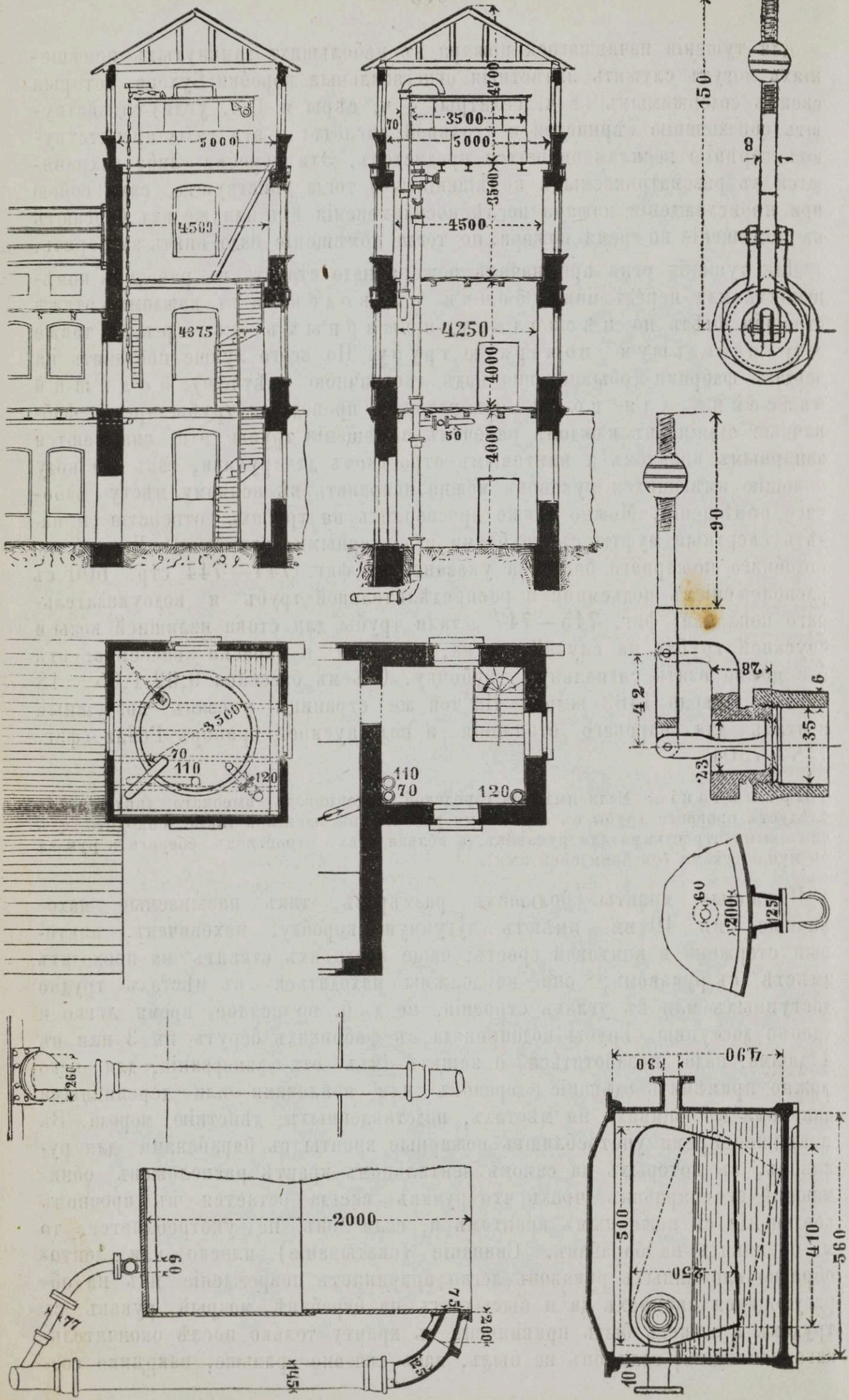
Въ другихъ приборахъ употребляютъ спиральныя пружины, которыя такъ устроены и поставлены, что движеніе спирали, происходящее при нѣкоторомъ, установленномъ для прибора, повышеніи температуры пространства, въ которомъ начался пожаръ, производитъ замыканіе электрическаго провода и звонъ сигнальнаго аппарата.

Для тушенія начавшагося пожара въ небольшихъ замкнутыхъ помѣщеніяхъ могутъ служить извѣстныя огнегасильныя коробки Бухера, которыя своимъ содержимымъ (8 ч. селитры, 4 ч. сѣры и 1 ч. угля) содѣйствуютъ образованію сѣрнистой и угольной кислотъ; а эти газы препятствуютъ горѣнію воспламенившихся предметовъ. Эти коробки либо сохраняются въ разсматриваемыхъ помѣщеніяхъ и тогда дѣйствуютъ сами собою при происхожденіи пожара послѣ воспламененія ихъ или же ихъ бросаютъ въ помѣщеніе во время пожара, но тогда помѣщеніе надо опять затворить.

Для тушенія огня при началѣ пожара надо поставить въ рабочихъ помѣщеніяхъ или передъ ними бочки съ водою и въ каждомъ этажѣ строенія имѣть по нѣсколько пожарныхъ ведеръ, а также одну небольшую пожарную трубу. Но всего лучше поставить на чердакѣ фабрики (обыкновенно надъ лѣстничною клѣткою) большой бассейнъ для воды, отъ котораго проводятся трубы чрезъ фабричныя зданія; въ каждомъ рабочемъ помѣщеніи трубы эти снабжаются запорнымъ крантомъ и винтовымъ отросткомъ для рукава, такъ что воду помощію имѣющихся рукавовъ можно направить къ всякому мѣсту рабочаго помѣщенія. Можно также просверлить на трубахъ отверстія и надѣть свертныя муфты съ трубками и пожарными крантами. Устройство подобнаго пожарнаго бассейна указано на фиг. 741—744 стр. 600 съ расположеніемъ подъемной и распредѣлительной трубъ и водоуказательнаго поплавка; фиг. 745—747 детали трубы для стока излишней воды и спускной трубки на случай чистки, поправки и окраски бассейна; отъ нее можно взять сигнальную трубочку. Объемъ бассейна 9,62.1,85 = 18 куб. м. = около 1463 ведра. На той же страницѣ указанъ воздушный вентиль для пароваго отопленія и водоспускной приборъ Ройля (фиг. 748—750).

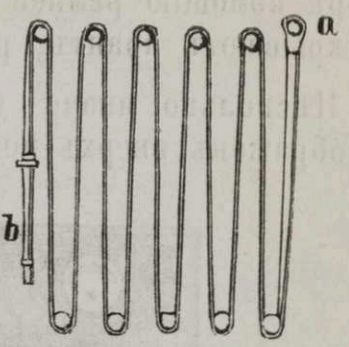
Примѣчаніе. Если имѣется городской водопроводъ высокаго давленія, то слѣдуетъ провести трубы въ отдѣльныя рабочія помѣщенія и также снабдить ихъ винтовыми отростками для рукавовъ, а вблизи этихъ отростковъ сберегать рукава съ мундштуками (съ брандспойтами).

Пожарные кранты большихъ размѣровъ, такъ называемые маховичные, въ 40 мм. имѣютъ чугунную коробку, маховичекъ, винтовый стержень и винтовой сростъ; чаще всего ихъ ставятъ на проходахъ вмѣстѣ съ рукавомъ; они не должны находиться въ мѣстахъ трудно доступныхъ или въ углахъ строенія, но д. б. во всякое время легко и удобно доступны. Трубы водопровода въ фабрикахъ берутъ въ 3 или въ 4 дюйма; надо позаботиться о защитѣ ихъ отъ замерзанія, для чего можно примѣнять одѣваніе деревомъ или войлоками или деревянными опилками въ ящикахъ на мѣстахъ, подставленныхъ дѣйствію мороза. Въ новѣйшее время употребляютъ пожарные кранты съ барабанами для рукавовъ, въ которыхъ на самомъ вентильномъ крантѣ расположенъ обнимающій его барабанъ, чрезъ что рукавъ всегда остается въ прочномъ соединеніи съ пожарнымъ крантомъ и, если онъ не употребляется, то м. б. навитъ на барабанъ. Свиваніе (скатываніе) плоско или ленточообразно сложенныхъ рукавовъ легко причиняетъ поврежденіе ихъ на образующихся кромкахъ да и высыхаетъ на барабанѣ мокрый рукавъ съ трудомъ и можетъ быть привинченъ къ кранту только послѣ окончательнаго навиванія, если онъ не былъ, какъ сказано раньше, накрѣпко сое-


5000
4500
4375
4700
70
3500
5000
3500
4500
4250
4000
50
4000
150
8
1
90
28
6
42
35
23
3500
70
110
120
110
70
120
60
200
125
260
2000
60
77
75
200
150
490
30
500
250
410
560
10

фиг. 741—750.

диненъ съ крантомъ. Этотъ недостатокъ устраняется при расположеніи кранта, видномъ на приложенной фиг. 751, гдѣ *a* обозначаетъ обыкновенный пожарный крантъ, *b* брандспойтъ. Рукавъ здѣсь виситъ на деревянныхъ колкахъ и всегда соединенъ съ крантомъ. Длина рукавовъ (въ Берлинскихъ пожарныхъ обозахъ) рекомендуется въ 15 м. Болѣе длинные рукава легко запутываются и затрудняютъ обращеніе съ ними. Полезно крантъ вмѣстѣ съ рукавомъ закрыть деревяннымъ шкафчикомъ (безъ задней стѣнки). Необходимо еженедѣльно пробовать всѣ пожарные краны, чтобы убѣдиться въ ихъ исправномъ состояніи, и осматривать рукава: нѣтъ ли прѣли въ мѣстахъ соединенія ихъ съ гайками; нѣтъ ли гнилыхъ или худыхъ рукавовъ, для чего надо по временамъ раскатывать ихъ и заштопывать.

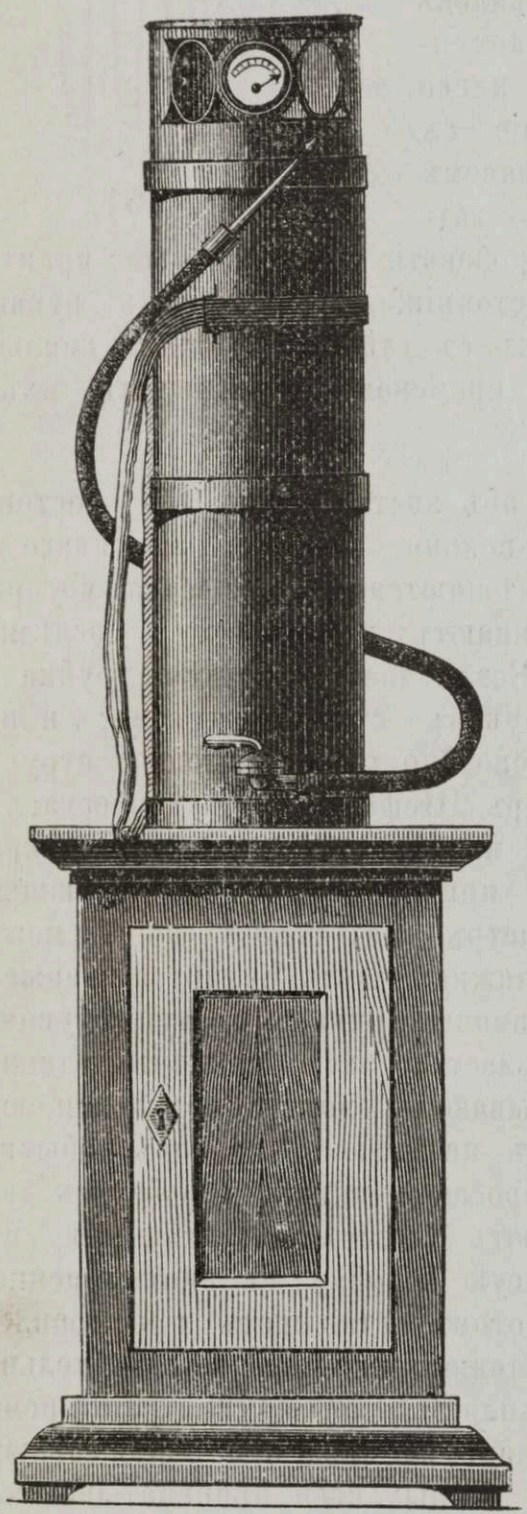


фиг. 751.

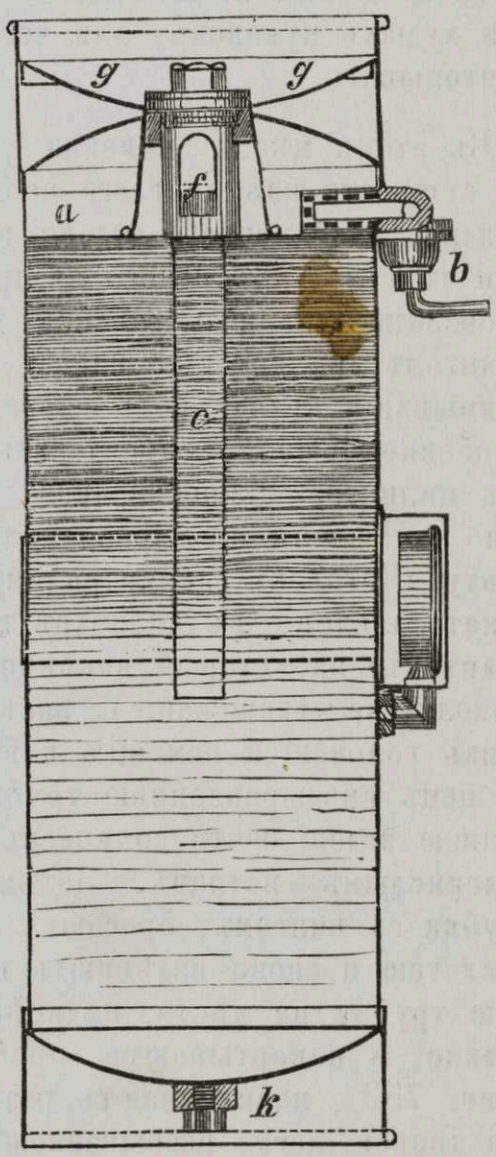
Въ этомъ мѣстѣ полезно упомянуть объ экстинкторѣ. Онъ состоитъ въ сущности изъ круглаго переноснаго довольно прочнаго жестянаго цилиндра, наполненнаго водою; въ него помѣщаются два вещества, которыя при дѣйствіи ихъ одного на другое развиваютъ углекислоту; послѣдняя производитъ на воду давленіе до 6 атм. Возлѣ дна находится трубка съ крантомъ, на который надѣтъ короткій рукавъ съ мундштукомъ; и при открываніи кранта вода выбрасывается довольно далеко бьющею струею. Особенно можно рекомендовать экстинкторъ Шефера и Буденберга; въ днѣ цилиндра, испробованнаго давленіемъ въ 12 атм., укрѣплена закрытая капсюлемъ продырявленная трубка, припаянная къ замыкающему винту. Потолокъ цилиндра имѣетъ манометръ, на шкапѣ коего можно узнать давленіе въ цилиндрѣ тогда какъ нижняя часть цилиндра снабжена крантомъ, на который навинчивается резиновый рукавъ съ мундштукомъ. Наполненіе (заряжаніе) экстинктора дѣлается такъ: приборъ ставятъ внизъ головою и помощію ключа вывертываютъ винтъ съ находящеюся на немъ продырявленною трубкою; потомъ наливаютъ приборъ обыкновенною водою почти до краевъ винта и бросаютъ внутрь коробку съ двууглекислымъ натромъ. Затѣмъ вынимаютъ запирающій капсюль изъ трубки съ винтомъ, бросаютъ въ нее другую коробку съ виннокаменною кислотою и снова надѣваютъ капсюль. Потомъ вставляютъ продырявленную трубку на мѣсто, на крѣпко завертываютъ винтъ на уплотнительное кольцо и повертываютъ приборъ; укрѣпляютъ поддерживающіе ремни (фиг. 752), навинчиваютъ резиновый рукавъ на крантъ и привязываютъ его тонкою легко разрываемою бичевкою, концы коей припечатываются, чтобы устранить злоумышленное открываніе кранта; вмѣстѣ съ тѣмъ приборъ готовъ къ употребленію и во всякое время можетъ начать работать. Отъ дѣйствія виннокаменной кислоты на двууглекислый натръ образуется углекислота, которая не можетъ выдѣляться изъ прибора, всѣ уплотненія коего всегда находятся подъ водою; отъ этого въ немъ всегда имѣется давленіе отъ 2 до 6 атм. Экстинкторъ нужно сберегать въ теплomъ помѣщеніи, которое всегда доступно для лицъ, назначенныхъ для управленія имъ,—напримѣръ въ комнатѣ швейцара или сторожа или на площадкахъ передъ рабочими помѣщеніями. При обнаруженіи огня экстинк-

торъ помощію ремней берется на спину и только близъ мѣста пожара открываютъ крантъ, разорвавъ бичевку.

Нѣсколько иначе устроенъ экстинкторъ Цабеля (фиг. 753). Приборъ изображенъ вверхъ ногами, онъ такъ и сберегается; въ водѣ, содержащей двууглекислый натръ, виситъ стеклянная трубка съ 80 процентною сѣрною кислотою. При обнаруженіи огня приборъ опрокидывается; имъ сильно ударяютъ полъ и нѣсколько разъ встряхиваютъ; вслѣдствіе этого колпачекъ f сходитъ со стеклянной трубки и сѣрная кислота можетъ изъ него



фиг. 752.

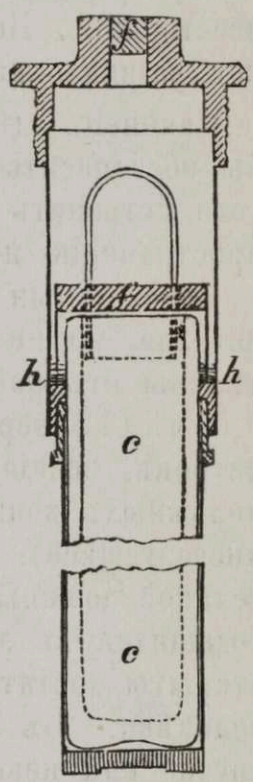


Фиг. 753.

выливаться; она разлагаетъ двууглекислый натръ и образующаяся углекислота производитъ въ экстинкторѣ давленіе въ 4 до 6 атм.

Если нужно вновь зарядить приборъ послѣ употребленія, то вывинчиваютъ помощію ключа вставную часть (фиг. 753); вытряхиваютъ зарядъ изъ наполнительнаго ящика (который содержитъ 1 клгр. двууглекислаго натра) въ воронку g и наполняютъ приборъ водою до a. Затѣмъ вливаютъ сѣрную кислоту (для чего вынимаютъ колпачекъ f) изъ бутылки

наполнительнаго ящика въ стеклянную трубку c; завинчиваютъ вставную часть на мѣсто и при употребленіи прибора поступаютъ, какъ описано. Если не должно употреблять экстинкторъ немедленно, но приходится его держать на готовѣ, то послѣ вливанія сѣрной кислоты въ стеклянную трубку c, необходимо вполнѣ залить углубленіе h на краю ея (фиг. 754) масломъ или глицериномъ. Тогда колпачекъ f, будучи погруженъ въ масло, защититъ сѣрную кислоту отъ влажнаго воздуха въ приборѣ, дабы избѣжать притягиванія его воды, переполненія и преждевременной порчи прибора. Для устраненія взрыва въ случаѣ, если бы самъ экстинкторъ остался въ огнѣ, въ гайкѣ вставной части имѣется пробка f' изъ металла Розе, который плавится уже при 100° Ц. У дна прибора находится винтъ k для чистки, головка коего подходитъ въ ключъ прибора. Манометръ сбоку на экстинкторѣ указываетъ давленіе въ немъ.



Фиг. 754.

Въ видѣ весьма пригоднаго приспособленія для тушенія начинающагося пожара въ фабрикѣ можно здѣсь привести еще т. н. аннигиляторъ Бауера; это есть переносная пожарная труба, насосъ коей снабженъ шаровыми вентилями. При употребленіи онъ наполняется смѣсью изъ 4 ч. воды и изъ 1 ч. особаго огнегасильнаго состава Бауера. Этотъ аннигиляторъ строится въ 4 величинахъ на 22, 30, 40 и 140 литр.

Для заведеній, работающихъ паровою силою, настоятельно рекомендуется поставить небольшой, всего лучше двудѣйствующій, паровой насосъ, который одновременно можетъ служить питательнымъ приборомъ для паровика. Этотъ насосъ снабжается винтовымъ отросткомъ и помощію рукава, сберегаемаго въ машинномъ помѣщеніи, тотчасъ же дозволяетъ провести большое количество воды ко всякой части фабрики и служитъ въ ней какъ бы пожарною трубою.

Упомянемъ еще о многократно примѣнявшемся паротушительномъ устройствѣ, которое часто оказывалось удачнымъ. Каждое отдѣльное зданіе соединяется съ паровымъ пространствомъ дѣйствующаго котла помощію трубы, которую можно запирать. Отъ этихъ трубъ идутъ вѣтви въ каждое рабочее помѣщеніе; эти отвѣтвленныя трубки заперты вентилями, устроенными на подобіе предохранительныхъ клапановъ и на рычагѣ нагружены гирями. Къ каждому рычагу свѣшивается съ потолка цѣпь, которая по блочкамъ идетъ внаружу и здѣсь снабжена тяжомъ, такъ что каждый изъ вентилей, находящихся въ рабочихъ комнатахъ, можно открыть снаружи. Если въ помѣщеніи вспыхнулъ пожаръ, то отвертываютъ главный вентиль зданія и помощію тяжа и цѣпи открываютъ со двора вентиль помѣщенія, въ коемъ горитъ; тогда паръ вытекаетъ въ горящее помѣщеніе и тушитъ огонь. Такъ какъ въ работающихъ котлахъ даже ночью имѣется достаточное давленіе паровъ для этого прибора, какъ и для выше упомянутаго насоса, то эти пожаротушильныя приспособленія можно съ успѣхомъ примѣнять и ночью во время остановки

фабрики, тѣмъ болѣе, что они безъ всякаго затрудненія могутъ быть приведены въ дѣйствіе даже сторожемъ.

Много разъ предлагались автоматическіе пожаротушители, которые должны лить воду прямо на горящее мѣсто, таковы приборы Н. П. Зимина, Гринелля и др.; но они дороги и дѣйствіе ихъ еще не испытано всесторонне. Повидимому постоянный бдительный надзоръ есть единственная радикальная мѣра противъ пожаровъ.

Наконецъ здѣсь надо сказать о тѣхъ мѣрахъ, которыя необходимы, чтобы обезопасить рабочихъ при вспыхнувшемъ пожарѣ въ фабрикѣ и сверхъ того устранить происхожденіе этой опасности и противодѣйствовать распространенію пожара.

Необходимыя въ фабрикахъ лѣстницы должно дѣлать только изъ металла, но не изъ дерева и помѣщать ихъ такъ, чтобы онѣ были отдѣлены отъ рабочихъ помѣщеній каменными стѣнами, выходящими на 0,5 м. (12 вершк.) сверхъ крыши. Рабочія залы длиною 30 и болѣе метровъ, всегда должны имѣть два выхода, находящіеся на противоположныхъ концахъ залы, и соединяться здѣсь съ лѣстницами (если зданіе многоэтажное). Далѣе всѣ двери рабочихъ помѣщеній, а также котельной должны отворяться внаружу; тогда какъ окна помѣщеній, находящихся въ этажахъ, слѣдуетъ такъ устроить, чтобъ они могли быть открыты достаточно широко для выхода и входа вполнѣ одѣтаго взрослаго человѣка. Въ существующихъ фабричныхъ строеніяхъ, къ которымъ трудно или невозможно пристроить вторую лѣстницу, слѣдуетъ настоятельно требовать прочныя, желѣзныя стремяночныя (пожарныя) лѣстницы снаружи зданія; при чемъ въ каждомъ изъ этажей фабрики одно окно устраивается такъ, чтобы оно отворялось на лѣстницу и допускало свободный выходъ человѣка на площадку, устроенную отъ окна до стремянки и хорошо огражденную перилами.

Еще совершеннѣе будетъ это устройство, если на наружныхъ стѣнахъ строенія устроены въ каждомъ этажѣ галлереи, проходящія передъ всѣми окнами и соединенныя между собою стремянками или лѣстницами; при этомъ понятно всѣ окна такъ устраиваются, что допускаютъ выходъ взрослаго человѣка. Двери возлѣ несгораемыхъ лѣстницъ д. б. желѣзныя; довольно часто является надобность въ устройствѣ дверей, могущихъ затворяться безъ помощи человѣческихъ рукъ. До настоящаго времени цѣль эта достигалась 3-мя способами:

1) Притягиваніемъ двери къ коробкѣ посредствомъ тяжести гирь. Средство это употребляется повсемѣстно въ самыхъ простыхъ помѣщеніяхъ. 2) Передвиженіемъ двери по направленію къ коробкѣ помощью пружинъ. Пружины эти однакожъ очень непрочны и непримѣнимы къ тяжелымъ дверямъ. 3) Для дверей, навѣшенныхъ на петляхъ,—тяжестью самой двери, посредствомъ особенно устроенныхъ петель, въ основаніи нижней части которыхъ сдѣлана винтообразная нарѣзка, по которой двигается верхняя часть петли съ такою-же нарѣзкою. Подобныя петли очень непрочны, и могутъ быть употребляемы только при не очень тяжелыхъ дверяхъ.

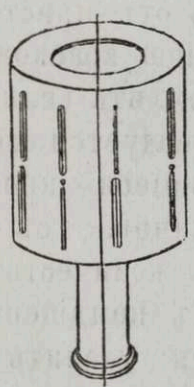
Во избѣжаніе всѣхъ этихъ неудобствъ, при навѣшиваніи двери на петляхъ, необходимо углубить личинку верхней петли, не менѣе какъ на двойную толщину ея, въ дверную рамку; а личинку нижней петли, на столько-же,—въ коробку, соблюдая при этомъ прямую наклонную линію

отъ верхней петли по направленію къ нижней. Еще удобнѣе и дѣйствительнѣе примѣняется этотъ способъ при навѣшиваніи двери на пятникахъ, отставляя верхній пятникъ подальше, а нижній, наоборотъ, поближе къ краю двери. Этотъ простой способъ оказался совершенно удовлетворительнымъ. Разумѣется, двери, при этомъ способѣ навѣшиванія, должны быть весьма тщательно пригнаны. Чѣмъ тяжелѣе двери, тѣмъ сильнѣе и быстрѣе онѣ будутъ затворяться.

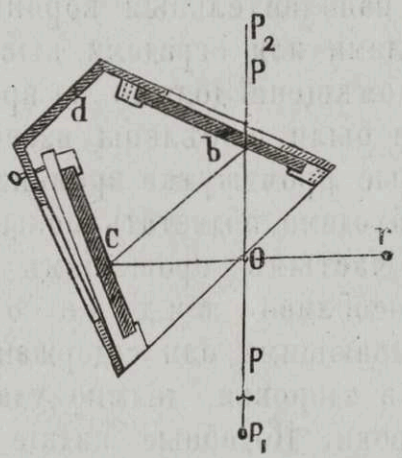
Что касается общаго расположенія фабрикъ, то слѣдуетъ сказать еще слѣдующее: полы рабочихъ помѣщеній, проходы, галлереи и т. д. слѣдуетъ поддерживать прочными и ровными и вообще въ хорошемъ состояніи; а именно надо заботиться объ устраненіи полупротершихся и прогибающихся досокъ, особенно тѣхъ, кои служатъ потолкомъ нижняго этажа. Далѣе полы должно содержать возможно сухими и настолько чистыми, чтобы рабочій не поскользнулся; при этомъ надо смотрѣть за уборкой жира и масла, которые нерѣдко капаютъ съ подшипниковъ на полъ, но дѣлаютъ его скользкимъ и грязнымъ. Въ помѣщеніяхъ, въ коихъ рабочіе такъ много имѣютъ дѣло съ водою, что она всегда сильно намачиваетъ полъ, слѣдуетъ послѣдній слегка наклонить къ нѣкоторымъ болѣе низкимъ мѣстамъ, соединеннымъ съ шлюзами или колодцами, такъ что вода можетъ стекать безпрепятственно.—Лѣстницы, если онѣ не окружены стѣнами зданія вполнѣ, нужно снабдить крѣпкими перилами. Содержаніе лѣстницъ также требуетъ вниманія, особенно же надо смотрѣть за перемѣною или починкою истершихся ступенекъ, что именно тогда еще нужнѣе, когда ступеньки имѣютъ малую ширину. Отверстія подъемныхъ машинъ, лѣстницъ и всходовъ, люки, переходы, платформы, площадки, наполнительныя воронки слѣдуетъ снабдить крѣпкими охранными перилами или оградами высотою не менѣе 1 м. Стѣны и потолки рабочихъ помѣщеній должно по временамъ обметать отъ приставшей пыли и, если они были выбѣлены известью (или масляною краскою), то чрезъ опредѣленные промежутки времени снова заново побѣлить (или покрасить). Также необходимо подметать полы, а лѣтомъ рекомендуется соединять подметаніе съ частымъ орошеніемъ водою. Получающіеся при обработкѣ угары, особливо жидкіе отбросы, смѣшанные съ веществами легко загнивающими или содержащіе въ большомъ количествѣ примѣси, вредныя для здоровья, должно удалять изъ рабочихъ помѣщеній въ самые короткіе сроки. Подобные жидкіе отбросы слѣдуетъ удалять по закрытымъ каналамъ или трубамъ въ ямы, построенныя внѣ рабочихъ помѣщеній, закрытыя и плотно содержимыя; ихъ содержимое слѣдуетъ вывозить тоже въ данные сроки. Устройствомъ колодцевъ или проведеніемъ водопровода слѣдуетъ доставить рабочимъ всякой фабрики возможность полученія здоровой воды для питья и уже въ интересахъ хозяевъ такъ расположить колодцы или водопроводъ, чтобы добываніе воды требовало кратчайшее время. Хотя само собою понятно, что каждая фабрика или всякое другое промышленное заведеніе должно имѣть соотвѣтственно числу рабочихъ отходныя мѣста, которыя (въ случаѣ занятія въ фабрикѣ и работницъ) должны быть раздѣлены на отдѣленія и снабжены надлежащими предписаніями, то въ отношеніи расположенія ихъ все таки слѣдуетъ указать, что онѣ не должны состоять въ непосредственномъ соединеніи съ рабочими помѣщеніями и что должно устра-

нить прониканіе вонючихъ газовъ въ эти послѣднія. Нужно здѣсь сказать также о раздѣвальныхъ, объ устройствѣ коихъ должно заботиться особенно во всѣхъ большихъ заведеніяхъ и въ тѣхъ случаяхъ, когда рабочіе снимаютъ часть своей одежды въ фабрикѣ и надѣваютъ особое рабочее платье. Такія раздѣвальни (гардеробныя) безусловно необходимы въ производствахъ, гдѣ при работѣ развивается ядовитая пыль, которая проникаетъ въ платье рабочихъ и здѣсь крѣпко засѣдаетъ; въ такихъ случаяхъ рабочій можетъ уносить въ свое жилище большое количество пыли, которая и проявляетъ здѣсь свое вредное для здоровья дѣйствіе на другихъ лицъ, въ особенности на женщинъ и дѣтей. Такія раздѣвальни слѣдуетъ снабдить умывальными или ванными, во всякомъ случаѣ отдѣльными для каждаго пола. Если въ промышленномъ заведеніи обрабатываются вещества ядовитыя или отдѣляющія пыль, то не слѣдуетъ дозволять рабочимъ ѣсть и пить въ рабочихъ помѣщеніяхъ какъ во время работы, такъ и при остановкахъ. При такихъ производствахъ необходимо предоставить рабочимъ особую столовую, снабженную умывальниками, въ которомъ они могли бы обѣдать, такъ какъ доказано, что при ѣдѣ въ такихъ рабочихъ помѣщеніяхъ въ тѣло рабочихъ проникаетъ большое количество яда, способное причинить заболѣванія. Такія столовыя имѣются, напримѣръ, въ прядильныхъ фабрикахъ въ Мюльгаузенѣ.

226. Землемѣрное искусство и нивелировка. По опытамъ средняя длина шага 20-лѣтн. человѣка 80 ст., причемъ можетъ быть ошибка въ 5%. Разность шага одного и того же человѣка бываетъ 1 до 2%. Скорость хода человѣка съ цѣлью измѣренія шагомъ 5 километровъ въ часъ; при продолжительномъ навыкѣ 5,5 километровъ.



Фиг. 755.



Фиг. 756.

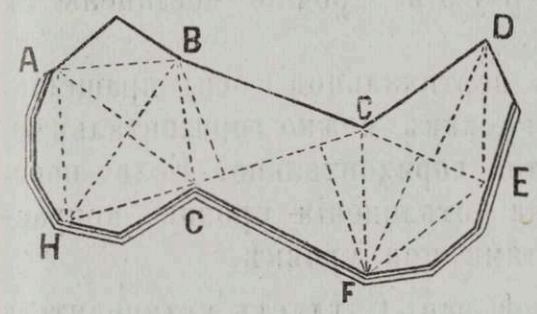
1. **Инструменты для измѣренія линіи** суть: цѣпь, рулетка, рейки и колеса. Ошибки, могущія являться при употребленіи, суть неправильныя положительныя и отрицательныя и ошибки, зависящія отъ инструмента.

Колеса для измѣренія линіи при окружности въ 2 м. даютъ неточность въ 0,019 м. Средняя величина неточности при другихъ инструментахъ на 50 м. около +0,02%; при длинѣ 100 м. около +0,03%.

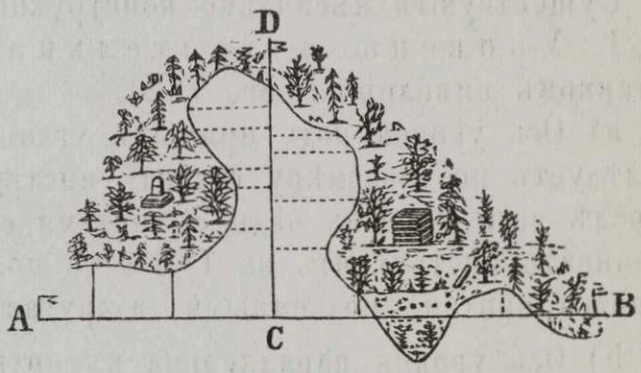
2. **Инструменты для разбивки прямыхъ угловъ:** а) эккеръ или угломѣрный барабанъ, смотри фиг. 755, для разбивки угловъ въ 90° и въ 45°; b) угольное зеркало для разбивки угловъ въ 90° фиг. 756. Если требуется съ помощью этого инструмента провести перпендикуляръ *ro*

изъ r къ прямой p_1p_2, то занятый этимъ наблюдатель двигается отъ p_1, держа инструментъ предъ глазами, до тѣхъ поръ, пока вѣшка r видна въ зеркалѣ и вмѣстѣ съ тѣмъ закрываетъ вѣшки p_1 и p_2, тогда o есть искомая точка, ибо уголъ $por=90^0$.

Правильность инструмента испытывается тѣмъ, что провизировавъ отъ p_1 и отъ p_2, слѣдуетъ въ обоихъ случаяхъ получить одну и ту же точку 0, въ противномъ случаѣ вывѣряется разница посредствомъ вывѣрочнаго винта.



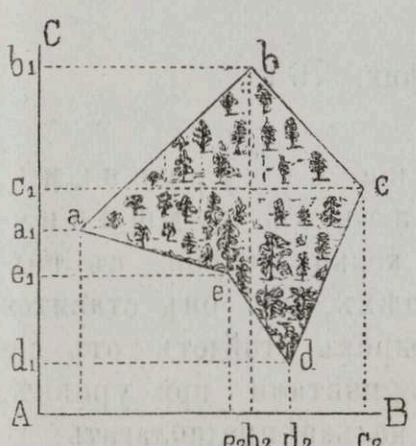
Фиг. 757.



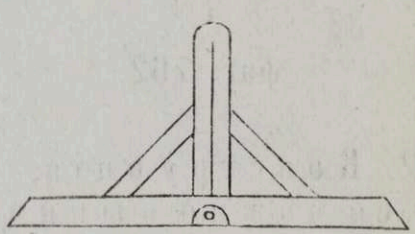
Фиг. 758.

Чтобы съ помощью этихъ инструментовъ измѣрять маленькую площадь, мѣсто для постройки или землю можно: во 1) раздѣлить всю площадь на множество трехугольниковъ, площадь которыхъ вычисляется изъ основной линіи и высоты трехугольника. Сумма одиночныхъ трехугольниковъ составляетъ общую площадь; во 2) вѣшаютъ прямую линію и другую къ ней перпендикулярную такъ, что можно взять перпендикуляры изъ угловъ площади, такимъ образомъ получается нѣсколько трапецій, сумма которыхъ составляетъ всю площадь; въ 3) земля, которую слѣдуетъ измѣрить помѣщается въ координатную систему (если же она не слишкомъ велика, то въ одной четверти) и теперь берутся перпендикуляры отъ каждаго угла на обѣ оси координатъ, записываютъ длины. Послѣ чего легко вычислять площадь (смотри фигуры 757, 758 и 759).

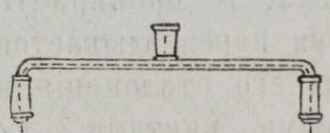
3. Инструменты для измѣренія разности высотъ. 1) Ватерпасъ съ отвѣсомъ. Для изслѣдованія горизонтальной линіи, ватерпасъ кладется на нее и если отвѣсъ сходится съ черточкою ватерпаса, то горизонтальность линіи достигнута. Взамѣнъ ватерпаса употребляется и уровень.



Фиг. 759.



Фиг. 760.



Фиг. 761.

2) Водяной уровень. Горизонтальная линія опредѣляется, по принципу сообщающихся трубокъ, уровнемъ крашенной воды, который долженъ быть одинаковъ въ обѣихъ вертикальныхъ трубкахъ (фиг. 761).

3) Нивелиръ. Зрительная труба соединена съ уровнемъ такъ, что ихъ оси параллельны. Обѣ вмѣстѣ вращаются на вертикальной оси, и по установкѣ пузырекъ не долженъ колебаться.

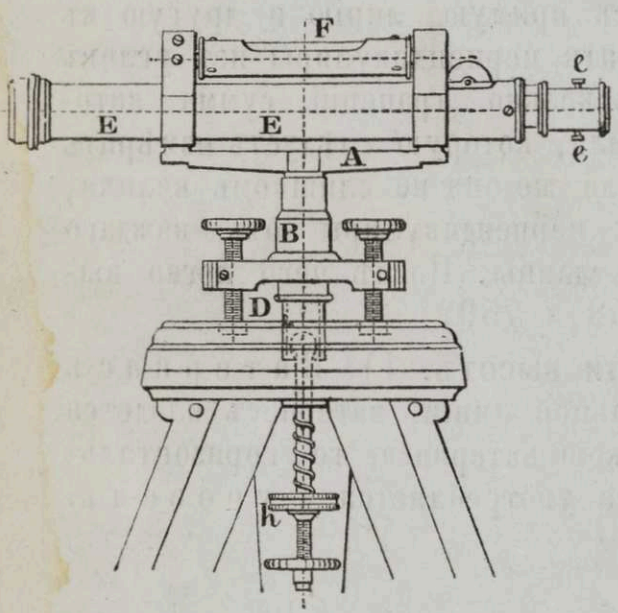
Инструментъ имѣетъ трехножникъ съ установочными винтами и крѣпко привинчивается къ стативу.

Существуютъ нѣсколько конструкцій нивелировъ.

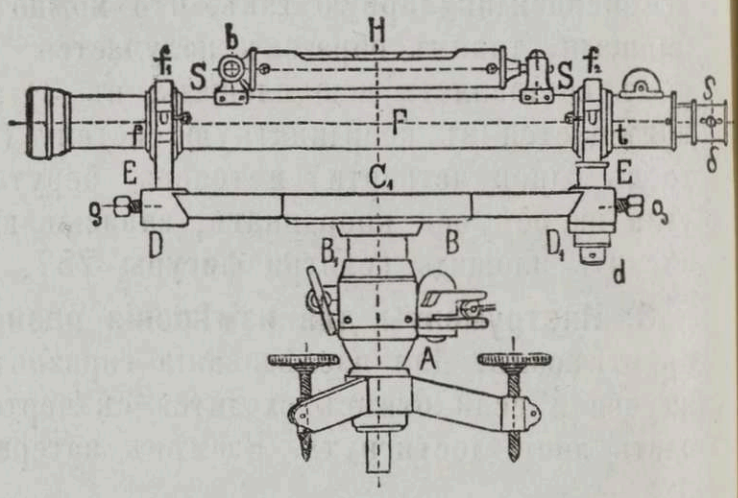
1. Уровень и зрительная труба прочно соединены съ станкомъ нивелира (фиг. 762).

a) Ось уровня подъ прямымъ угломъ къ вертикальной оси вращенія. Слѣдуетъ по глазомѣру ставить инструментъ какъ можно горизонтальнѣе, послѣ чего уровень надъ 2 винтами ставится горизонтально. Если поворачивать инструментъ на 180°, то половина отклоненія уровня исправляется винтами подъемными, а другая винтами при уровнѣ.

b) Ось уровня параллельна къ оптической оси. Слѣдуетъ установиться гдѣ либо между двумя отдаленными пунктами A и B, и посредствомъ трубки записываютъ отмѣтки на рейкѣ. Потомъ подходятъ столь близко къ одной изъ точекъ, что ошибку отъ разстоянія между точкою и инструментомъ можно пренебречь и записываютъ вѣрную отмѣтку (a), потомъ слѣдуетъ передвигать волосяной крестъ, пока на другой точкѣ прочтутъ отмѣтку $=a \pm h$, если h разность высотъ 2 точекъ.



фиг. 762.



фиг. 763.

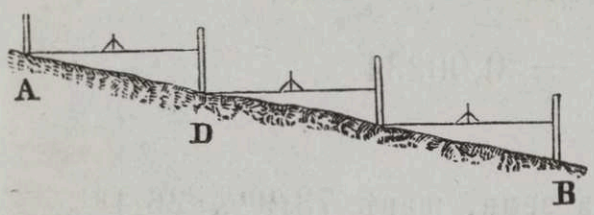
2. Конструкція. Трубка соединена съ уровнемъ, но ее можно вынимать и переставлять въ подшипникахъ. Если можно предполагать, что наружныя кольца трубы въ подшипникахъ одинаковыя, то провѣряется уровень тѣмъ, что онъ ставится горизонтально, трубка перекладывается; если пузырекъ отойдетъ отъ середины, то половины его отклоненія исправляютъ винтами при уровнѣ, а другую—подъемными винтами. Если этого нельзя предполагать, то провѣрка также, какъ въ конструкціи 1; но не слѣдуетъ перемѣшивать подшипниковъ (фиг. 763).

3. Правила при употребленіи нивелировочныхъ инструментовъ:

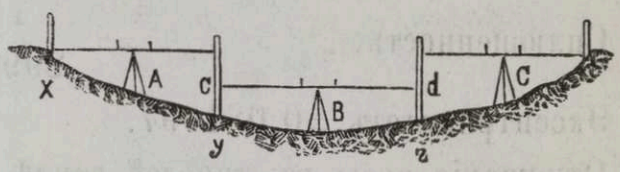
a) Чтобы нивелировать на маленькомъ разстояніи съ помощью ватерпаса, поступаютъ слѣдующимъ образомъ:

Если слѣдуетъ измѣрить разницу въ высотѣ между A и B, то ставится рейка и измѣряется въ высотѣ между A и D и т. д. покуда дойдутъ до B.

b) Нивелировки съ помощью водянаго уровня и нивелира одинаковы. Первый инструментъ устанавливается въ такомъ разстояніи, что рейка отчетливо видна. Сперва опредѣляютъ разницу между высотами x и y изъ A, потомъ y и z изъ B и т. д. до конца.



фиг. 764.



фиг. 765.

c) При привелировкѣ нивелиромъ слѣдуетъ обратить вниманіе на то, чтобы:

1. Остановки не были бы слишкомъ далеки и какъ можно въ одинаковомъ разстояніи.

2. Слѣдуетъ сперва провѣрить неточность въ уровнѣ, если таковая находится, по рейкѣ въ разстояніи 100 м.

3. Если можно, слѣдуетъ устанавливать инструментъ на срединѣ между 2 пикетами.

4. Уровень слѣдуетъ защитить отъ солнечныхъ лучей.

5. Если вертикальное положеніе рейки сомнительно, то пусть рабочій двигаетъ рейку взадъ и впередъ и берется самая большая отмѣтка.

6. Для нивелировки горъ и крутыхъ обрывовъ употребляется ватерпасъ или уровень.

b) Запись большихъ нивелировокъ.

Мѣстность . . . . . наблюденія числа и мѣсяца.

№	Отмѣтка			Высота		Примѣчанія.
	Назадъ.	На срединѣ.	Впередъ.	Отмѣтки.	Пикета.	

e) Запись маленькихъ нивелирокъ.

Мѣсто стоянки.	Отмѣтка		Примѣчанія.
	Назадъ.	Впередъ.	

Если сумма отмѣтокъ назадъ больше, чѣмъ впередъ, то вы имѣете дѣло съ углубленіемъ.

227. Размѣры земнаго шара (по Бесселю).

Длина четверти меридіана . 10000855,765 метр.

Радіусъ у экватора . . = 6377397,16 метр. = 859,43 нѣм. миль

„ у полюсовъ . . = 6356078,96 метр. = 856,56 „ „

Окружность у экватора. . = 40070368,097 метр. = 5400,00 „

„ въ меридіанѣ. . = 40003423,056 метр. = 5390,98 „

Поверхность земнаго шара. = 509950741,3 кв. килом. = 9261238,3 □ миль.

Объемъ „ „ . = 1082841322500 куб. килом. = 2650184468 куб. миль.

Сплющенность „ „ . $= \frac{1}{299,1} = 0,00334.$

Эксентриситетъ = 0,081697.

Отношеніе воды къ твердой землѣ на земн. шарѣ 73,9% : 26,1%.

Разстояніе луны отъ земли = 60 радіусовъ земнаго шара.

Діаметръ луны = 0,27234 діаметра земли = 688,635 нѣм. миль.

Поверхность луны = $^1/_{14}$ поверхности земли.

Объемъ луны = 0,0201611 куб. сод. земли.

Разстояніе солнца отъ земли = 20682000 нѣм. миль.

Діаметръ солнца = 112,05 діам. земли = 192600 нѣм. миль.

Поверхность солнца въ 12557 разъ больше поверхности земли.

Объемъ солнца въ 1409725 разъ больше объема земли.

228. Греческій алфавитъ.

Αα	Ββ	Γγ	Δδ	Εε	Ζζ	Ηη
альфа	бета	гамма	дельта	эпсилонъ	зета	эта
Θϑ	Ιι	Κχ	Λλ	Μμ	Νν	Ξξ
тета	іота	каппа	ламбда	ми	ни	кси
Οο	Ππ	Ρρ	Σσ	Ττ	Υυ	Φφ
омікронъ	пи	ро	сигма	тау	ипсилонъ	фи
		Χχ	Ψϕ	Ωω.		
		хи	пси	омэга.		

229. Прядильное и ткацкое производство.

1. Бумагопрядильное производство.

А. Необходимое мѣсто и рабочая сила, а также производительность разныхъ машинъ для обработки хлопчатой бумаги.

НАЗВАНІЕ МАШИНЫ.	Ширина и длина въ м.	Необход. рабоч. сил. въ лош. с.	Ежедневн. производство въ кг.
Волчокъ. Цилиндрическій барабанъ съ круглыми коническими зубцами. Діам. 1 м. число оборотовъ 300 до 400. Самодѣйствующее разъединеніе послѣ 30 до 50 оборотовъ	1,22×2,00	2	500
Щипальная машина или оренег. (сист. Тайлоръ). Цилиндрическій зубчатый барабанъ діам. 1020 мм. шир. 900 мм. Число оборотовъ 500. Непрерывное питаніе и отведеніе. Вентиляторъ 1200 оборотовъ при діаметрѣ крыльевъ отъ 400 до 500 мм.	1,60×3,043	3,4	2000
Трепальная машина (система Crighton) Вертикальн. книзу съуживающій ударный барабанъ длин. 900 мм. діам. 500 мм. Питательная воронка; отводное полотно въ рамкѣ; вентиляторъ 1400 оборотовъ.	1,80×3,50	3	4500
Щипальная машина Крейтона (двойная) съ приборомъ для наматыванія, все остальное какъ выше.	1,828×7,468	3	3000
Трепальная или взрыхлительная машина съ 2 крыльями каждое діам. 400 мм. и 1500 оборот.	—	—	1200 до 1500
Холстовая трепальн. машина для холстовъ шир. 965 мм. съ автоматическимъ остановомъ для ваты одинаковой длины. 2 вентилятора каждый съ 1200 оборотами	1,752×5,67	4	1000
Карда-чесальная маш. для холста шир. 965 мм. съ 3 рабочими и 3 съемными валиками; 10 шляпокъ съ самодѣйствующимъ чистительнымъ приборомъ, діам. барабана 1140 мм.; 1 собиратель, 1 дранка, патентов. гребень (дѣлающій около 1100 ударовъ), вытяжной приборъ, вращающійся тазъ. Барабанъ 140 оборотовъ. Употребленіе для простого чесанія до № 30. Употребленіе для двойного чесанія, какъ предварительная до № 50	1,778×3,048	0,35	30–32 40
Кардо-чесальная маш. безъ рабочихъ и съемн. валиковъ, съ 24 шляпками, все остальное какъ выше, для вторичнаго чесанія	1,778×3,048	0,3	40
Машина для натачиванія шляпокъ и валиковъ. Точильный барабанъ діам. 400 мм. длин. 1080 мм.; 200 оборотовъ	1,80×1,00	—	—
Соединительная машина Дерби (Derby doubler.) съ подводящими цилиндрами, самодѣйствующимъ остановомъ для каждой ленты, ширина холста 482 мм. длинный столъ для 48 тазовъ.	1,60×3,00	0,6	100
Ленточная или вытяжная машина, 3 головки каждая въ 4 пропуска; 4 ряда вытяжн. цилиндровъ, автоматическій механическій или электрическій остановъ для каждой ленты. Передній цилиндръ 280 до 350 оборотовъ. Мѣсто включая и для тазовъ	1,676×8,20	0,38	300

НАЗВАНІЕ МАШИНЫ.	Ширина и длина въ м.	Необход. рабоч. сил. въ лош. с.	Ежедневн. производство въ кг.
Грубый баккаброшъ. 72 веретенъ, длин. системы 457 мм., подъемъ 255 мм.; діам. намотанной катушки 127 мм.; діам. цилиндровъ 32 мм. и 25 мм.; 500 оборотовъ веретена. Мѣсто включая тазы	1,22×9,134	на одно веретен. 0,0105 до 0,016	на одно веретен. 4 до 6
Средній баккаброшъ, 90 веретенъ; длина системы 558 мм., высота подъема 203 мм., діаметръ шпульки 115 мм., діам. цилиндр. 29 мм. и 25 мм., 750 оборотовъ веретена. Мѣсто включая установочной рамки.	0,915×9,286	0,014 0,018	3—4
Тонкій баккаброшъ. 128 веретенъ, длина системы 517 или выс. подъема 177 мм. діам. намотанной шпульки 88 мм.; 1000 оборотовъ веретена; діам. цилиндровъ 29 мм. и 25 мм. Мѣсто включая рамки.	0,950×9,185	0,015 0,018	0,2 до 1,2
Самый тонкій баккаброшъ. 148 веретенъ, длина систем. 440 мм.; выс. подъема 127 мм. діам. намот. шпульки 63 мм.; діам. цилиндр. 29 и 25 мм. 1300 число оборот. веретена. Мѣсто включая рамки	1,000×10,80	0,017 0,026	0,2 до 6,6
Сельфакторъ. 820 верет.; разстояніе между веретенами 32 мм.; длина свободной части веретена 152 мм., остальное какъ у слѣдующаго. Мѣсто включая рамки.	3,276×27,483	0,007	—
Сельфакторъ. 744 верет., разстояніе между верет. 35 мм. длина шпулекъ 177 мм.; діам. цилиндр. 22 и 25 мм. длина хода каретки 1,68 м. 7000 число оборот. верет. Мѣсто включая рамки. .	3,276×27,432	0,0066 0,0079	—
Ватеръ-машина. 300 америк. патентов. кольцев. веретенъ, раздѣлены ровно на обѣ стороны; дѣленіе 76 мм. 5000 число обор. верет.	0,900×12,000	0,009	—
Сучильная машина 100 веретенъ раздѣлены на обѣ стороны дѣленіе 94 мм. 4000 обходовъ. .	1,30×5,34	0,015	—
Мотовило на 30 веретенъ, дѣленіе 110 мм. . . .	0,70×4,08	—	—

Считаютъ на движеніе прядильни, въ которой прядутъ №№ 20 до 60, 100 веретенъ, при толстыхъ №№ пряжи (№ 1 до 20) 80 веретенъ на 1 лош. силу.

Въ ватерныхъ прядильняхъ только 75 до 80 веретенъ на 1 лош. силу.
Отношеніе веретенъ другъ къ другу по К. Несте.

№ пряжи.	ЧИСЛО ВЕРЕТЕНЪ. Баккаброши. I.	II.	III.	IV.	Мюль.	Производительность одного сельфакторнаго веретена въ 12 час. въ кг.
20	1		2,0937	—	28,72	0,144
30	1		2,0937	—	31,217	0,089
40	1	2,451	5,275	—	75,69	0,055
50	1	2,451	5,275	—	82,4856	0,044
60	1	2,896	7,3696	—	78	0,031
80	1	2,897	7,3696	—	95,206	0,028
100	1	2,451	5,275	11,95	221,15	0,017

Среднимъ числомъ можно считать на 1 тонкопрядильное веретено 0,27 квадр. метровъ пространства и 2,5 кг. приводовъ, включая всѣ приготовительныя машины, мѣста для смѣшиванія и мотальню.

B. Ткацкое производство.

На 150 ткацкихъ станковъ для шир. ткани около 1 м., съ 15 нитками № 24 утка—и основы на $^1/_4$ □-и франц. дюймъ считаютъ:

МАШИНА.	Количество.	Длина и шир. въ м.	Необходим. рабоч. сила въ лош. сил.
Мотальная машина съ 220 веретен. Главный валъ 80 оборот. въ мин.	1	7,085×1,400	0,28 до 0,33
Сновальная машина съ рамкою для катушекъ, окружная скорость барабана 55 м.	3	5,60×2,80	0,1
Шлихтов. машина. система Диккинсонъ, съ 2 мѣдными послѣдоват. цилиндрами для сушки или Patent-Bullough and Whitchead съ 4 сушильн. цилиндрами и 1 вентиляторомъ для доставки горячей струи воздуха	1	2,00×2,16	1,3
Ткацкихъ станковъ, съ 180 ударами въ мин. .	150	2,00×1,20	0,2

Производительность одного ткацкаго станка въ 12 раб. час. при шир. ткани въ 1 м.; 15 нитокъ № 24 утокъ и основа 45 м.; если 18 нитокъ № 36 до № 44 утокъ и основа 38 м.

Считаютъ на 1 лош. силу: при тяжел. матеріяхъ 3 ткацк. станка, при легкихъ матеріяхъ 4 ткацк. станк., включая приготовит. машины и приводы.

Каждый ткацкій станокъ требуетъ включительно подготовки, амбаровъ для пряжи и ткани 8,5 квадр. метровъ.

Подъ названіемъ „англійскій номеръ“ бумажной пряжи понимается количество петинокъ (hanks) идущихъ на 1 англ. фунтъ; подъ „французскимъ номеромъ“ количество километровъ длины пряжи (echeveaux) на полъ килограмъ.

Сравненіе французскихъ и англійскихъ номеровъ пряжи:

Французск. №	Англійск. №	Французск. №	Англійск. №
1	1,18	28	33,0
2	2,36	30	35.4
3	3,54	32	37,8
4	4,72	34	40,1
5	5,90	36	42,5
6	7,08	38	44,8
7	8,26	40	47,2
8	9,44	42	49,6
9	10,62	44	51,9
10	11,80	46	54 3
12	14,2	48	56,6
14	16,5	50	59,0
16	18,9	52	61,4
18	21,2	54	63,7
20	23,6	56	66,1
22	26,0	58	68,4
24	28,3	60	70,8
26	30,7		

C. Отдѣлка тканей.

Между прочими употребляются:

Палильная печка. Расходуетъ въ 12 час. дня около 20000 м. ткани 6,7 свт. мягкаго древесн. топлива.

Промывное колесо, діам.: 2 м. 1,5 лош. силъ.

Цилиндрическая промывная машина. Число оборотовъ 25 въ мин. помѣщеніе 4×2,8 м. Движ. сила $1^1/_2$ до 2 лош. силъ.

Центробѣжная (Центрофуга) сушильная машина. Сѣтчатый барабанъ діам. 0,95 м. 1000—1200 оборотовъ. Движ. сила $1^1/_2$ лош. силъ.

2. Льняное производство.

Необходимое помѣщеніе и рабочая сила, а также производительность машинъ для обработки льна.

НАЗВАНІЕ И ПОДРОБНОЕ ОПИСАНІЕ МАШИНЪ.	Ширина и длина въ м.	Необходим. рабоч. сила лош. силѣ.	Производство въ часъ въ кг. и въ м.	Средн. движ. сила, принимая въ соображ. остановки въ лош. сил.
Цилиндрическая льнотрепальная машина 5 паръ слѣдующихъ одинъ за другимъ чугунныхъ рифленыхъ цилиндровъ, діам. 200 мм., длина 630 мм. 180 оборотовъ главнаго вала	1,500×2,75	1,5	80 до 160 кг. льняной соломы.	
Льнотрепальная машина Гильда. 2 пары рифленыхъ цилиндр. съ по перемѣнч. кругов. движ. впередъ и назадъ діам. валовъ 100 мм., шир.: 0,68 м., движущ. валъ 120 обор.	1,27×1,50	0,55	40 кг. льнян. соломы.	0,33
Льнотрепальная съ 4 станками по 6 трепальн. ножей длин. 0,93 м. 140 оборот. слѣдоват. 6 × 140 = 840 ударовъ въ мин.	2,60×2,30	0,41	14 кг. льнян. соломы.	0,37
На 1 станокъ . . .	—	0,11	-	0,09
Гребнечесальная машина для льна (геклингъ) Комба. Обработка льна между 2 чесальн. поверхностями въ 6 отдѣлен. Движущ. валъ 167 оборот. шир. рабочей части 1,97 м	1,66×3,90	0,45 до 0,48	45 кг. трепан. льнянаго волокна.	0,41 до 0,43
Скорость стержня 0,7 м. въ сек . . .	—	—	—	
Раскладочная машина. 4 впуска; главн. валъ 150 оборот. шир. рабочей части 0,356 м.	1,5×4,0	0,84	1380 м = 30 кг.	0,67
1-ая ленточная маш. 3 головки по 4 ленты, 2 отводящихъ валика главн. валъ 150 оборот. шир. раб. ч. 0,84 м. . .	2,50×3,10	1,15	—	0,92
На 1 отводящ. валъ . .	—	—	1000 м =	
2-ая ленточ. маш. 3 головки по 6 лентъ.		1,08 и	31 кг.	
3 отводн. вал.	2,50×3,50	0,75	—	0,86 до
На 1 отводящ валъ . .	—		1000 м =	0,58
Предварительная прядильн. маш. или банкаброшъ съ дифференціальн. движеніемъ и парой конондальныхъ барабановъ; 6 головокъ по 10 веретенъ, 180—200 оборот. главн. вала	2,00×6,50	2,25	20 кг. и 720 м = 18 кг. —	1,8
На 1 веретено . . .	—	0,037	900 м =	
Предварит. прядильн. маш. или льняной банкаброшъ Комба. Взамѣнъ ремневыхъ конусовъ: кеглеобразный оставъ. 8 головокъ по 10 веретенъ. Главн. валъ 190 оборот.	1,65×8,00	2,0	20 кг. —	1,88
На 1 веретено . . .	—	0,025	900 м =	
Тонко-прядильная машина (для мокраго прядѣнія) 128 веретенъ. Дѣленіе 79 мм. Главн. валъ 750 оборот.	1,84×5,40	2,74	24 кг. —	2,33
На 1 веретено (№ 25) . . .	—	0,022	360 м =	
Растрепывающ. машина для льняной пакли (оческовъ), діаметръ барабана 1 м.			3 кг.	

НАЗВАНІЕ И ПОДРОБНОЕ ОПИСАНІЕ МАШИНЪ.	Ширина и длина въ м.	Необходим. рабоч. сила лош. сила	Производство въ часъ въ кг и въ м.	Средн. движ. сила, принимая въ сообр. остановки въ лош. сил.
оборот. 600. Подводящее и отводящее полотно на рамкѣ, сѣтчатый барабанъ и вентиляторъ . . . . . (Число оборотовъ послѣдняго 1745 въ мин.)	1,40×3,00	3	100 кг.	2,40
Грубая кардъ машина. Діам. барабана 1,52 м. Число оборот. 170, шир. 1,83 м. 7 рабоч. 7 съемныхъ валиковъ, 3 собирателя	3,10×4,00	2,57	40 кг.	2,1
Тонкая карда. Діам. барабана, 1,52 м. 170 оборот. Шир. 1,83 м. 7 рабоч. 7 съемныхъ, 3 собирателя и 2 питательныхъ валика	3,10×3,40	1,92	25 кг.	1,5
1-ая ленточная маш. для пакли. 3 головки по 4 и 6 лентъ 2 вытяжн. вал. Ширина раб. части 0,912 до 1,152м. главн. валъ 115—200 оборотовъ.	1,40×3,40	0,96 (0,62 до 1,48)	30 до 55 кг.	— (0,50 до 1,38)
2-я лент. маш. для пакли 3 головки по 6 лентъ и 3 вытяжныхъ вал.	1,40×3,40	0,75 (0,60 до 0,90)	30—50кг.	— (0,48 до 0,74)
Прядильная машина или банкаброшъ для пакли. 8 головокъ по 10 веретенъ. Движ. валъ 240 оборотовъ.	1,50×8,70	2,68	—	2,49
На 1 веретено . . .	—	—	50 кг.	—
Тонкопрядильная машина для пакли. 128 веретенъ, дѣленіе 76 мм.; движ. валъ 370 оборотовъ	1,84×5,40	2,4	—	2,1
На 1 веретено въ часъ 480 м. очесочной пряжи № 16.	—	—	6,5 кг.	—

Для расчета всѣхъ машинъ служатъ слѣдующія данныя. Если обозначимъ: D діам. передн. валовъ или вытяжныхъ валовъ въ м.; U число оборот. въ мин.; n число лентъ или шпулекъ; p сопротивленіе, отнесенное къ окружности вытяжныхъ валовъ въ кг; f коэффиціентъ для нормальныхъ остановокъ машины; N движущая сила машины въ лош. сил.; L длина въ м. выпускаемой въ 1 мин. вытяжными валами лентъ или пряжи, то движущая сила питающихъ вытяжныхъ, грубо и тонко прядильныхъ машинъ.

$$N = f.p\frac{D\pi.U.n}{60\times75} = \frac{D.U.f.p.n}{1432} = \frac{f.p.L.n}{4500}$$ лош. силъ.

Среднее сопротивленіе, приведенное къ окружности вытяжныхъ валовъ въ кг.:

Приводн. валъ	31,4	Первая ленточ. для оческовъ (пакли)	18,
Первая ленточная для льна	15,3	Вторая „ „ „ „	12,2
Вторая „ „ „	9,87	Очесочн. банкаброшъ.	10,2
Льняной банкаброшъ.	7,81	Тонкопрядильная маш. для очесочной пряжи № 14—16	11,9
Тонкопрядильная машина для льняной пряжи № 25 до 40.	10,8		

Для производства въ часъ 100 кг. льняной пряжи № 30 изъ чесаннаго льна требуется движущ. сила въ 111 лош. силъ, а для производства въ часъ 100 кг. пряжи очесочной № 15 изъ расчес. пакли 71 лош. силъ.

Если въ часъ переработать 1000 кг. льна, то требуется движущ. силы

для подготовит. машинъ	31,3	лош. силъ
„ пряденія льна	89,0	„ „
„ „ пакли	49,7	„ „
Всего . . .	170,0	лош. силъ.

Подъ номеромъ льняной пряжи понимается число пасмъ по 300 ярдъ, которыя содержитъ 1 фунтъ англійскій. На помѣщеніе считается вообще: на каждое тонкопрядильное льняное веретено по 0,5 к. м. для установки всѣхъ машинъ и 0,1 к. м. на амбары для льна и пакли.

Среднимъ числомъ можно считать на 1 лош. силу 33 (отъ 26 до 49) тонкопрядильныхъ веретенъ (включая все приготовленіе) для льняной пряжи № 25 до 35 и пряжи очесочной № 15.

Тканье льняной пряжи производится часто еще на ручн. станкахъ. Ручной станокъ при тканіи льна производитъ вслѣдствіе малой скорости только половину того, что при тканіи хлопчатой бумаги.

3. Шерстяное производство.

Необходимое помѣщеніе и рабочая сила, а также производительность машинъ для обработки шерсти.

НАЗВАНІЕ И ПОДРОБНОЕ ОПИСАНІЕ МАШИНЪ.	Ширина и длина въ м.	Необходим. рабоч. сила въ лош. сил.	Производство въ часъ въ кг. или въ м.	Средн. движ. сила принимая во вниманіе остан. въ лош. сил.
Машина для полосканія шерсти. 2 полоскающихъ крыла съ 35 оборот. въ мин. Каждое крыло съ 4 граблями по 4 зубца діам. крыльевъ 920 мм. Шир. 654 мм. Вѣсъ обработыв. шерсти 20 кг	1,93×3,8	0,22	60 кг.	0,167
Центробѣжн. насосъ. Крылья 900 оборот.	—	1,50	—	1,20
Машина для промыв. шерсти. „Лэвіатанъ“ 3 послѣдоват. баттареи	1,72×12,5	5,0	250-300 кг.	—
Центробѣжныя сушильныя машины діам. котла 835 мм. 1300 оборот. въ мин. главный валъ 285 оборотовъ	1 0×1,1	1,32	120 кг.	0,87
Обрабатывается 4 партіи въ часъ, каждая въ 30 кг. шерсти или 1 кусокъ сукна въ 30 до 40 кг. вѣсу въ влажн. состоян. Обезрепейнивающій волчокъ (система Hougetu. Teston). Главн. валъ 198 оборотовъ. Зубчатый барабанъ діам. 476 мм. дѣлаетъ 350 оборотовъ шир. 880 мм. Вентиляторъ.	1,0×2,72	2,20	10 кг.	1,75
Промасливающій волчокъ. 350 оборот. барабана, діам. 820 мм. длина 990 мм. ширина 935 мм.	1,75×2,1	0,56—0,7	35 кг.	0,45—0,56
Растрепывающая и перетрепывающая чесальная машина. Барабанъ 110 оборотовъ, діам. 945 мм. шир. обработки 900 мм.	2,1×2,6 и 1,66×3,8	0,6 и 0,45	6 и 4 кг.	0,56 и 0,40
Оканчивающая чесал. маш. Барабанъ 100 обор. діам., 960 мм. шир. 950 мм . .	1,66×3,5	0,65	5 кг.	0,59
Тонкопрядильная Мюль машина съ 240 веретенами въ 2500 оборот. въ мин. Разстоян. между веретен. 47 мм.	3×12	0,65	0,5 кг. (5000 м. № 24)	0,57
Одно веретено аппаратной пряжи. . . .	—	0,003	—	0,0024
Сучильная машина въ 120 веретенъ по 1100. Глав. валъ 220 оборот. Разст. верет. 82 мм.	0,7×10,75	0,7	14380 м. крутки	0,60
Одно крутильное веретено	—	0,007	120 м. нит.	0,005
Проклеивающая основу и сновальныя маш. 450 основныхъ нитокъ, скор. нитокъ 130—240 мм. въ сек. Проклеивающій паровой сушильный, сновальный и навойный аппараты, шир. раб. части 770 мм.	2,8×7,85	0,07	въ сек. 0,138 м.	0,05

НАЗВАНІЕ И ПОДРОБНОЕ ОПИСАНІЕ МАШИНЪ.	Ширина и длина въ м.	Необходим. рабоч. сила въ лош. сил.	Производст. въ часъ въ кг. или въ м.	Средн. движ. сила, принимая во вниманіе остан. въ лош. сил.
(При этомъ шир. сушильнаго аппарата только 1,5 м., сновальн. рамокъ 2,8 м.)				
Механическій ткацкій станокъ для сукна шир. 2,25 м. (система Шенгерръ) 40 до 45 пробѣговъ челнока 2 ремиза, 120 оборотовъ движущ. вала, ширина берда 2400 мм	1,6×3,85	0,12	—	0,08
Машина для промывки сукна. Промывные валы 40 оборот. ширин. 1030 мм. діам. 530 мм.	1,6×2,0	0,50	—	0,46
Скорость движенія сукна 1—1,3 м. въ сек. по 2 куска сразу.	—	—	въ сек. 2×1,11 м.	—
Простая цилиндрическая сукновальная машина съ однимъ каткомъ для матеріи. Барабанъ шир. 110 мм. 100 оборотовъ.	1,24×1,87	2,5	въ сек. 2,27 м.	2,0
Простая сукновальная машина (система Прессприхъ Виде) 3 пары горизонт. и 3 пары вертик. валовъ попеременно другъ возлѣ друга. Первые гориз. валы 110, движущ. валъ 171 оборот. въ мин. Шир. 230 мм.	1 45×2,47	2,75	въ сек. 1,11 м.	2,47
Простая сукновальная машина (система Lacroix). Барабанъ 45 оборот. діам. 690 мм. 3 катка, 2 куска сукна другъ возлѣ друга	1,27×2,05	1,60	0,54 м.	1,37
Шатунная сукновальная съ 2 молотами, 115 ударовъ (система Шпрангель и Шиммель) подъемъ молотовъ 300 мм. 2 куска сукна предварительно и окончательно валяются. Ширина матеріи 600 мм.	1,2×2,2	2,0	—	1,53
Центрофуга для суконъ, барабанъ діам. 700 до 800 мм. обор. 900 въ мин. . .			даетъ въ часъ 8 кусковъ. сухаго сукна вѣсъ кажд. 15кг.	
Простая ворсовальная машина безъ ширительнаго прибора. Барабанъ длин. 1,92 мм., діам. 770 мм. 90 оборот. 18 ворсов. рамокъ, шир. раб. части 1580 мм. . .	1×2,6	75	0,155 м.	0,67
Двойная ворсовальная машина. 2 барабана діам. 880 мм. длин. 1,9 м. 100 оборот. шир. раб. части 1330 мм. 18 ворсов. рамокъ	2,4×2 7	1,38-4,0	0,059 м.	1,27—3,71
Продольная стригальная машина. Движущ. валъ 105 оборот.; вращающійся ножъ діам. 100 мм. съ 650 оборот. въ мин. Шир. раб. части 1570 мм	2,12×2,38	0,6	0,040 м.	0,515
Поперечная стригальная машина. Движущ. валъ 105 оборот. Цилиндр. ножъ діам. 70 мм. и 1000 оборот. въ мин. ширина рабоч. части 1150 мм. (60 проходовъ въ часъ)	1,53×3,0	0,25	—	0,125
Бастовальная машина 2 щеточныхъ вала діаметромъ 350 мм. ширина раб. части 1700 мм. Столъ для пропариванія . . .	1,96×2,00	1,03	0,135 м.	0,77

Таблицы абсолютнаго вѣса тѣлъ.

230. Абсолютный вѣсъ тѣлъ. 1. Вѣсъ единицы объема какого либо тѣла найдется, если вѣсъ данной кубичной единицы воды умножить на удѣльный вѣсъ этого тѣла.

Вѣсъ воды (при наибольшей ея плотности), куб. саж.=592,9 пуд.; куб. арш. 21,9594 пуд.; куб. вершка=0,21444 фунт.; куб. дюйма=0,04 фунта.

2. Вѣсъ какого нибудь тѣла найдется, если данный объемъ его умножить на вѣсъ кубичной единицы этого тѣла, или на плотность его.

3. Объемъ тѣла, по данному его вѣсу найдется, если данный вѣсъ раздѣлить на вѣсъ единицы объема этого тѣла.

1. Какъ вѣсъ куб. фута воды=1,73 пуд., а удѣльный вѣсъ свинца=11,33, то вѣсъ куб. фута свинца=$1{,}73 \times 11{,}33 = 19{,}58$ пуд.

2. Найдти вѣсъ жернова, радіусъ котораго 1,75, а толщина 0,8 фута.

Какъ объемъ жернова $= 3{,}1416 \times 1{,}75^2 \times 0{,}8 = 7{,}7$ куб. фут., а вѣсъ куб. фута жерноваго камня, $= 4{,}29$ пуд., то вѣсъ жернова $= 77 \times 4{,}29 = 33{,}03$ пуд.

3. Найдти діаметръ сплошнаго чугуннаго шара въ $62\frac{1}{4}$ пуд. вѣсомъ.

Какъ вѣсъ кубич. фута чугуна,=12,45 пуд., то объемъ даннаго шара $= \frac{62{,}25}{12{,}45} = 5$ куб. фут., и діаметръ его $= 1{,}24\sqrt[3]{5} = 1{,}24 \times 1{,}709 = 2{,}12$ фут.

231. Таблицы абсолютнаго вѣса тѣлъ. 1. Употребленіе всѣхъ нижеслѣдующихъ таблицъ, въ которыхъ размѣры поперечнаго сѣченія частей выражены въ дюймахъ, видно изъ нижеслѣдующихъ примѣровъ.

По таблицѣ 3, вѣсъ 3,79 куб. фут. чугуна=37,35+8,715+1,121=47,2 пуд.

По таблицѣ 4, вѣсъ 27,1 кв. фут. цинковыхъ листовъ толщиною въ $\frac{1}{16}$ дм.,$= 2{,}592 \times 27{,}1 = 70{,}24$ фунт.

По таблицѣ 5, вѣсъ 80000 фут. желѣзной проволоки № 17 бирмингамской проволочной мѣрки$= 0{,}878 \times \frac{80000}{100} = 702{,}4$ фунт. $= 17$ пуд. 22 фунт.

По таблицѣ 9, вѣсъ квадратнаго или брусковаго желѣза, котораго толщина $1\frac{1}{4}$ дм., а длина 9 фут.,$= 5{,}775 \times 9 = 51{,}975 = 52$ фунт.

Если вѣсъ желѣзныхъ частей, исчисленный по таблицамъ, равняется 57,2 пуд., то вѣсъ мѣдныхъ частей одинаковой формы и размѣровъ, по таблицѣ 2 будетъ$= 57{,}2 \times 1{,}16 = 66{,}4$ пуд.

2. При составленіи всѣхъ нижеслѣдующихъ таблицъ и формулъ для вѣса частей, принятъ средній абсолютный вѣсъ тѣлъ. Тѣмъ не менѣе, всѣми этими таблицами и формулами можно пользоваться и при другихъ данныхъ для вѣса кубичнаго фута тѣлъ.

Если вѣсъ куб. фута желѣза, изъ котораго сдѣланы какія нибудь части, равенъ 13,66 пуд., а вѣсъ этихъ частей по таблицамъ и фор-

муламъ выходитъ въ 1800 пуд. то настоящій ихъ вѣсъ $= \frac{1800 \times 13{,}66}{13{,}31} =$ 1846 пудовъ.

1. Таблица вѣса, въ пудахъ, куб. саж. строительныхъ матеріаловъ.

Вода (790 ведеръ)	593
Булыжный камень крупный	1350
„ „ средній	1250
„ „ мелкій	1100
Гравій гранитной породы	1100
„ смѣшанной породы	950
Гранитъ, или тесанный камень, въ плотномъ тѣлѣ	1600
Плита, разнаго рода	1000
Кирпича, тысяча	200
Кладка изъ кирпича	940
„ „ гранита и бута	1420
„ „ песчанника и известняка	1200
Бетонъ	1000
Известь негашеная	480
Цемянка изъ обожженной глины	950
Щебень кирпичный	700
„ сырцовый и изъ булыжнаго камня	1100
Глина, въ плотномъ тѣлѣ	1075
Песокъ и земля, въ плотномъ тѣлѣ	1000
Дернъ, песокъ, земля и глина, вырытые	800
Мохъ	80
Дрова сосновыя и еловыя, свѣжія	275
„ „ „ „ годовалыя	225
Дрова березовыя и ольховыя, свѣжія	375
„ „ „ „ годовалыя	300
Хворостъ, свѣжій	125
„ годовалый	100
Уголь изъ сосноваго и еловаго дерева (или 46 четвертей)	100
Каменный уголь, въ кускахъ средней величины	670
Коксъ, обожженный въ печахъ, въ кускахъ средней величины	240
Коксъ, съ газовыхъ заводовъ	195
Торфъ, свѣжевыкопанный	430
Торфъ, сформованный въ кирпичи и высушенный въ сушильной печи.	560

2. Таблица сравнительнаго вѣса твердыхъ тѣлъ.

Сосна полусухая.	Желѣзо	Чугунъ и цинкъ.	Сталь.	Мѣдь.	Латунь.	Свинецъ.	Олово.
1	13,31	12,45	13,48	15,38	14,69	19,69	12,62
0,075	1	0,935	1,013	1,156	1,104	1,479	0,948
0,080	1,069	1	1,083	1,235	1,180	1,582	1,014

Числа одного и того же горизонтальнаго ряда выражаютъ отношеніе между вѣсами тѣлъ, взятыхъ въ равныхъ объемахъ.

3. Таблица вѣса (плотности) тѣлъ.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Вѣсъ, въ фунтахъ, отъ 1 до 9 куб. дюйм.								
Вода.	0,040	0,080	0,120	0,160	0,200	0,240	0,280	0,320	0,360
Сосна, полусухая. . . .	0,023	0,046	0,069	0,093	0,116	0,139	0,162	0,185	0,208
Дубъ, полусухой.	0,035	0,069	0,104	0,139	0,174	0,208	0,243	0,278	0,312
Ртуть.	0,5440	1,0880	1,6321	2,1761	2,7201	3,2641	3,8082	4,3522	4,8962
Желѣзо. . .	0,308	0,616	0,924	1,232	1,541	1,849	2,157	2,465	2,773
Чугунъ. . . .	0,288	0,576	0,865	1,153	1,441	1,729	2,017	2,307	2,594
Мѣдь красная.	0,356	0,712	1,068	1,424	1,780	2,136	2,492	2,848	3,204
Латунь. . . .	0,340	0,680	1,020	1,360	1,700	2,040	2,380	2,720	3,060
Колокольный металлъ . .	0,353	0,705	1,058	1,410	1,763	2,115	2,468	2,820	3,173
Олово.	0,292	0,584	0,876	1,168	1,461	1,753	2,045	2,337	2,629
Свинецъ . . .	0,456	0,911	1,367	1,823	2,278	2,734	3,190	3,645	4,101
Цинкъ	0,288	0,576	0,865	1,153	1,441	1,729	2,017	2,307	2,594
Серебро. . . .	0,419	0,838	1,258	1,677	2,096	2,515	2,934	3,354	3,773
Золото	0,775	1,549	2,324	3,099	3,874	4,648	5,423	6,198	6,972
	Вѣсъ, въ пудахъ, отъ 1 до 9 куб. фут.								
Атмосферный воздухъ, при 0° и давл. въ 30 дм. . . .	0,00224	0,00448	0,00673	0,00897	0,01121	0,01345	0,01570	0,01794	0,02018
Водяные пары, при 100° . .	0,0014	0,0028	0,0042	0,0056	0,0070	0,0084	0,0098	0,0112	0,0126
Вода.	1,7286	3,4572	5,1857	6,9143	8,6429	10,3715	12,1001	13,8286	15,5572
Сосна полусухая. . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дубъ, полусухой.	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5
Каменныя кладки:									
изъ гранита и бута	4,15	8,30	12,45	16,60	20,75	24,90	29,05	33,20	37,35
изъ песчанника и известняка.	3,50	7,00	10,50	14,00	17,50	21,00	24,50	28,00	31,50
изъ кирпича. .	2,74	5,48	8,22	10,96	13,70	16,44	19,18	21,92	24,66
Желѣзо . . .	13,31	26,62	39,93	53,24	66,55	79,86	93,17	106,48	119,79
Чугунъ. . . .	12,45	24,90	37,35	49,80	62,25	74,70	87,15	99,60	112,05
Мѣдь красная	15,38	30,76	46,14	61,52	76,90	92,28	107,66	123,04	138,42
Латунь. . . .	14,69	29,38	44,07	58,76	73,45	88,14	102,83	117,52	132,21
Колокольный металлъ. . .	15,23	30,46	45,69	60,92	76,15	91,38	106,61	121,84	137,07
Олово.	12,62	25,24	37,86	50,48	63,10	75,72	88,34	100,96	113,58
Свинецъ . . .	19,69	39,38	59,07	78,76	98,45	118,14	137,83	157,52	177,21
Цинкъ	12,45	24,90	37,35	49,80	62,25	74,70	87,15	99,60	112,05

По урочному на строительныя работы положенію принимается вѣсъ желѣза, куб. фута=573 фунт.=14,325 пуд.,

куб. дюйма=0,3316 фунт. или почти 3 куб. дм. на фунтъ;

чугуна, куб. фута=494 фунт.=12,34 пуд.,

куб. дюйма=0,2857 фунт., или $3^1/_2$ куб. дм. на фунтъ;

и потому, для перехода къ этимъ плотностямъ, опредѣленныя по нижеслѣдующимъ таблицамъ вѣса частей

желѣзныхъ, множатся на 1,077;

чугунныхъ, множатся на 0,992.

4. Таблица вѣса, въ фунтахъ, металлическихъ листовъ.

Толщина листа въ дюймахъ.	Желѣзо.	Сталь.	Чугунъ и цинкъ.	Мѣдь.	Латунь.	Свинецъ.	Олово.
			Вѣсъ квадратнаго фута.				
1/32	1,386	1,404	1,296	1,602	1,53	2,052	1,314
1/16	2,772	2,808	2,592	3,204	3,06	4,104	2,628
3/32	4,158	4,213	3,888	4,806	4,59	6,156	3,942
1/8	5,544	5,617	5,184	6,408	6,12	8,208	5,256
5/32	6,930	7,021	6,480	8,010	7,65	10,26	6,570
3/16	8,316	8,425	7,776	9,612	9,18	12,31	7,884
7/32	9,702	9,829	9,072	11,21	10,71	14,36	9,198
1/4	11,09	11,23	10,37	12,82	12,24	16,42	10,51
5/16	13,86	14,04	12,96	16,02	15,30	20,52	13,14
3/8	16 63	16,85	15,55	19,22	18,36	24,62	15,77
7/16	19,40	19,66	18,14	22,43	21,42	28,73	18,40
1/2	22,18	22,47	20,74	25,63	24,48	32,83	21,02
9/16	24 95	25,28	23,33	28,84	27,54	36,94	23,65
5/8	27,72	28,08	25,92	32,04	30,60	41,04	26,28
11/16	30,49	30,89	28,51	35,24	33,66	45,14	28,91
3/4	33,26	33,70	31,10	38,45	36,72	49,25	31,54
13/16	36,04	36,51	33,70	41,65	39,78	53,35	34,16
7/8	38,81	39,32	36,29	44,86	42,84	57,46	36,79
15/16	41,58	42,13	38,88	48,06	45,90	61,56	39,42
1	44,35	44,93	41,77	51,26	48,96	65,66	42,05
			Вѣсъ квадратнаго аршина.				
1/64	3,773	3,822	3,528	4,361	4,165	5,586	3,577
1/32	7,546	7,644	7,056	8,722	8,330	11,17	7,154
3/64	11,32	11,47	10,58	13,08	12,49	16,76	10,73
1/16	15,09	15,29	14,11	17,44	16,66	22,34	14,31
5/64	18,87	19,11	17,64	21,81	20,82	27,93	17,88
3/32	22,64	22,93	21,17	26,17	24,99	33,52	21,46
7/64	26,41	26,75	24,70	30,53	29,15	39,10	25,04
1/8	30,18	30,58	28,22	34,89	33,32	44,69	28,62

5. Таблица вѣса англійской жести, встрѣчаемой въ торговлѣ.

Клеймо.	Число листовъ въ ящикѣ.	Длина и ширина въ дюймахъ.	Вѣсъ ящика въ пуд. и фунт.	Клеймо.	Число листовъ въ ящикѣ.	Длина и ширина въ дюймахъ.	Вѣсъ ящика въ пуд. и фунт.
1 C или 1 Com.	225	13 3/4 на 10	3 4	DX	100	16 3/4 на 12 1/2	3 20
2 C. . .	225	13 1/4 „ 9 3/4	2 36	DXX.	100	16 3/4 „ 12 1/2	4 3
3 C. . .	225	12 3/4 „ 9 1/2	2 28	DXXX.	100	16 3/4 „ 12 1/2	4 26
H C. . .	225	13 3/4 „ 10	3 12	DXXXX	100	16 3/4 „ 12 1/2	5 9
H X. . .	225	13 3/4 „ 10	4 3	SDC	200	15 „ 11	4 26
1 X. . .	225	13 3/4 „ 10	3 35	SDX.	200	15 „ 11	5 9
2 X. . .	225	13 1/4 „ 9 3/4	3 27	SDXX.	200	15 „ 11	5 33
3 X. . .	225	12 3/4 „ 9 1/2	3 20	SDXXX	200	15 „ 11	6 16
1 XX . .	225	13 3/4 „ 10	4 18	SDXXXX. . . .	200	15 „ 11	7 30
1 XXX. .	225	13 3/4 „ 10	5 0	Wasters или Wc et X. . .	225	13 3/4 „ 10	3 20
1 XXXX .	225	13 3/5 „ 10	5 25				
DC . . .	100	16 3/4 „ 12 1/2	2 36	TT	450	13 3/4 „ 10	3 4
				TTT	450	13 3/4 „ 10	3 20

6. Таблица вѣса, въ фунтахъ, металлическихъ листовъ и проволоки, различныхъ нумеровъ, по бирмингамской проволочной мѣркѣ.

Толщина или діаметръ.		Металлическіе листы.						Проволока.		
		Вѣсъ квадратнаго фута.			Вѣсъ квадратнаго аршина.			Вѣсъ 100 погон. фут.		
№	Въ дюймахъ.	Желѣзо.	Мѣдь.	Латунь.	Желѣзо.	Мѣдь.	Латунь.	Желѣзо.	Мѣдь.	Латунь.
1 (5/16)	0,312	13,860	16,020	15,300	75,460	87,220	83,300	28,348	32,766	31,293
2	0,284	12,596	14,559	13,905	68,578	79,266	75,703	23,413	27,062	25,846
3	0,261	11,576	13,380	12,779	63,024	72,846	69,572	19,774	22,856	21,828
4 (1/4)	0,250	11,088	12,816	12,240	60,368	69,776	66,640	18,143	20,970	20,028
5	0,217	9,624	11,124	10,624	54,814	60,566	57,844	13,670	15,789	15,088
6	0,208	9,225	10,663	10,184	52,641	58,054	55,444	12,558	14,516	13,864
7 (3/16)	0,187	8,316	9,612	9,180	45,276	52,332	49,980	10,205	11,796	11,266
8	0,166	7,362	8,510	8,127	41,292	46,331	44,249	7,999	9,246	8,830
9	0,158	7,008	8,100	7,736	39,360	44,098	42,116	7,247	8,376	8,000
10	0,137	6,076	7,023	6,708	34,289	38,237	36,519	5,448	6,297	6,014
11 (1/8)	0,125	5,544	6,408	6,120	30,184	34,888	33,320	4,536	5,243	5,007
12	0,109	4,834	5,588	5,337	26,320	30,422	29,055	3,449	3,986	3,807
13	0,094	4,169	4,819	4,602	22,698	26,236	25,057	2,565	2,965	2,831
14	0,080	3,548	4,101	3,917	19,318	22,328	21,325	1,858	2,147	2,596
15	0,072	3,193	3,691	3,525	17,386	20,095	19,192	1,505	1,739	1,661
16 (1/16)	0,063	2,772	3,204	3,060	15,092	17,444	16,660	1,134	1,311	1,252
17	0,055	2,439	2,820	2,693	13,281	15,351	14,661	0,878	1,015	0,969
18	0,048	2,129	2,461	2,350	11,591	13,397	12,795	0,669	0,773	0,738
19	0,042	1,863	2,153	2,056	10,142	11,722	11,196	0,512	0,592	0,565
20	0,035	1,552	1,794	1,714	8,452	9,769	9,330	0,356	0,411	0,393
21	0,033	1,464	1,692	1,616	7,969	9,210	8,796	0,316	0,365	0,349
22 (1/32)	0,031	1,386	1,602	1,530	7,546	8,722	8,330	0,283	0,328	0,313
23	0,028	1,242	1,435	1,371	6,761	7,815	7,464	0,228	0,263	0,251
24	0,025	1,109	1,282	1,224	6,037	6,978	6,664	0,181	0,210	0,200
25	0,021	0,931	1,077	1,028	5,071	5,861	5,598	0,128	0,148	0,141
26	0,020	0,887	1,025	0,979	4,829	5,582	5,331	0,116	0,134	0,128
27	0,018	0,798	0,923	0,881	4,346	5,024	4,798	0,0941	0,109	0,104
28 (1/64)	0,016	0,698	0,801	0,765	3,773	4,361	4,165	0,0709	0,0819	0,0782
29	0,013	0,577	0,666	0,636	3,139	3,628	3,465	0,0491	0,0567	0,0541
30	0,012	0,532	0,615	0,588	2,898	3,349	3,199	0,0418	0,0483	0,0462
31	0,010	0,444	0,513	0,490	2,415	2,791	2,666	0,0290	0,0336	0,0320
32	0,009	0,400	0,461	0,441	2,173	2,512	2,399	0,0235	0,0272	0,0260
33	0,008	0,355	0,410	0,392	1,932	2,233	2,132	0,0186	0,0215	0,0205
34	0,007	0,310	0,359	0,343	1,690	1,954	1,866	0,0142	0,0164	0,0157
35	0,005	0,222	0,256	0,245	1,207	1,396	1,333	0,0073	0,0084	0,0080
36	0,004	0,177	0,205	0,196	0,966	1,116	1,066	0,0046	0,0054	0,0051

7. Таблица вѣса листовой красной мѣди, встрѣчаемой въ торговлѣ.

№	Вѣсъ квадратн. аршина въ пуд. и фун.		Вѣсъ квадратн. фута въ фунт.	№	Вѣсъ квадратн. аршина въ пуд. и фун.		Вѣсъ квадратн. фута въ фунт.	№	Вѣсъ квадратн. аршина въ пуд. и фун.		Вѣсъ квадратн. фута въ фунт.	№	Вѣсъ квадратн. аршина въ пуд. и фун.		Вѣсъ квадратн. фута въ фунт.
1	2	4	15,43	7	1	10	9,18	13	0	26	4,77	19	0	12	2,20
2	2	0	14,69	8	1	4	8,08	14	0	23	4,22	20	0	9	1,65
3	1	34	13,59	9	1	1	7,53	15	0	20	3,67	21	0	8	1,47
4	1	26	12,12	10	0	38	6,98	16	0	18	3,31	22	0	7	1,29
5	1	22	11,39	11	0	35	6,43	17	0	16	2,94	23	0	6	1,10
6	1	16	10,29	12	0	30	5,51	18	0	14	2,57	24	0	5	0,92

8. Таблица вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута полосоваго желѣза.

Ширина въ дюймахъ.	Толщина въ дюймахъ.										
	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	5/8	3/4	7/8	1
1/2	0,231	0,347	0,462	0,578	0,693	0,809					
5/8	0,289	0,433	0,578	0,722	0 866	1,011	1,155				
3/4	0,347	0,520	0 693	0,866	1,040	1,213	1,386	1,733			
7/8	0,404	0,606	0,809	1,011	1,213	1,415	1,617	2,021	2,426		
1	0,462	0,693	0,924	1,155	1,386	1,617	1,848	2,310	2,772	3,234	
1/8	0,520	0,780	1,040	1,299	1,559	1,819	2,079	2,599	3,119	3,638	4,158
1/4	0,578	0,866	1,155	1,444	1,733	2,021	2,310	2,888	3,465	4,043	4,620
3/8	0,635	0,953	1,271	1,588	1,906	2 223	2,541	3,176	3,812	4,447	5,082
1/2	0,693	1,040	1,386	1,733	2,079	2,426	2,772	3,465	4,158	4,851	5,544
5/8	0,751	1,126	1,502	1,877	2,252	2 628	3,003	3,754	4,505	5,255	6,006
3/4	0,809	1,213	1,617	2,021	2.426	2,830	3,234	4,043	4,851	5,660	6,468
7/8	0,866	1,299	1,733	2,166	2,599	3,032	3,465	4,331	5,198	6,064	6,930
2	0,924	1,386	1 848	2,310	2,772	3 234	3,696	4,620	5,544	6,468	7,392
1/8	0,982	1,473	1,964	2,454	2 945	3,436	3,927	4,909	5,891	6,872	7,854
1/4	1,040	1,559	2,079	2,599	3,119	3,638	4,158	5,198	6,237	7,277	8,316
3/8	1,097	1,646	2,195	2 743	3,292	3,840	4,389	5,486	6,584	7,681	8,778
1/2	1,155	1 733	2,310	2,888	3,465	4,043	4,620	5,775	6,930	8,085	9,240
5/8	1,213	1,819	2,426	3 032	3,638	4,245	4,851	6,064	7,277	8,489	9,702
3/4	1,271	1,906	2,541	3 176	3,812	4,447	5,082	6,353	7,623	8,894	10,16
7/8	1,328	1,992	2,657	3 321	3,985	4,649	5,313	6,641	7,970	9,298	10,63
3	1,386	2,079	2,772	3,465	4,158	4,851	5,544	6,930	8,316	9,702	11,09
1/8	1,444	2,166	2,888	3 609	4,331	5,053	5,775	7,219	8,663	10,11	11,55
1/4	1,502	2 252	3,003	3,754	4 505	5,255	6,006	7,508	9,009	10,51	12,01
3/8	1,559	2,339	3,119	3,898	4,678	5,457	6,237	7,796	9,356	10,91	12,47
1/2	1,617	2,426	3,234	4,043	4,851	5,660	6,463	8,085	9,702	11,32	12 94
5/8	1,675	2,512	3,350	4,187	5,024	5,862	6,699	8,374	10,05	11,72	13 40
3/4	1,733	2,599	3 465	4,331	5,198	6,064	6,930	8,663	10,40	12,13	13,86
7/8	1,790	2,685	3,581	4,476	5,371	6,266	7,161	8,951	10,74	12,53	14,32
4	1,848	2,772	3,696	4.620	5,544	6,468	7,392	9,240	11,09	12,94	14,78
1/8	1,906	2,859	3,812	4,764	5 717	6,670	7,623	9,529	11,43	13,34	15,25
1/4	1,964	2 945	3 927	4,909	5 891	6,872	7,854	9,818	11,78	13,74	15,71
3/8	2,021	3,032	4,043	5,053	6,064	7,074	8,085	10,11	12,13	14,15	16,17
1/2	2,079	3 119	4,158	5,198	6,237	7,277	8,316	10,40	12,47	14,55	16,63
5/8	2,137	3,205	4,274	5,342	6,410	7,479	8,547	10,68	12,82	14,96	17,09
3/4	2,195	3,292	4,389	5,486	6,584	7,681	8,778	10,97	13,17	15,36	17,56
7/8	2,252	3,378	4,505	5 631	6,757	7,883	9,009	11,26	13,51	15,77	18,02
5	2,310	3,465	4,620	5,775	6,930	8,085	9,240	11,55	13,86	16,17	18,48
1/8	2 368	3,552	4,736	5,919	7,103	8,287	9,471	11,84	16,21	16,57	18,94
1/4	2,426	3,638	4,851	6,064	7,277	8,489	9,702	12,13	14,55	16,98	19,40
3/8	2,483	3,725	4,967	6,208	7,450	8,691	9,933	12,42	14,90	17,38	19,87
1/2	2,541	3,812	5,082	6 353	7,623	8,894	10,16	12,71	15,25	17,79	20,33
5/8	2,599	3,898	5,198	6,497	7,796	9,096	10,40	12,99	15,59	18,19	20 79
3/4	2,657	3,985	5,313	6,641	7,970	9,298	10,63	13,28	15,94	18,60	21,25
7/8	2 714	4 071	5,429	6,786	8,143	9,500	10,86	13,57	16,29	19,00	21 71
6	2,772	4,158	5,544	6,930	8,316	9 702	11,09	13,86	16,63	19,40	22,18

9. Таблица вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута четырехграннаго желѣза, мѣди красной и зеленой.

Сторона сѣченія въ дм.	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
				Желѣзо.				
0	0,000	0,058	0,231	0,520	0,924	1,444	2,079	2,830
1	3,696	4,678	5,775	6,988	8,316	9,760	11,32	12,99
2	14,78	16,69	18,71	20,85	23,10	25,47	27,95	30,55
3	33,26	36,09	39,04	42,10	45,28	48,57	51,98	55,50
4	59,14	62,89	66,76	70,74	74,84	79,06	83,39	87,84
5	92,40	97,08	101,87	106,78	111,80	116,94	122,20	127,57
6	133,06	138,66	144,38	150,20	156,15	162,21	168,39	174,69
7	181,10	187,62	194,26	201,02	207,89	214,88	221,98	229,20
8	236,54	243,99	251,56	259,24	267,04	274,95	282,98	291,12
9	299,38	307,75	316,24	324,84	333,56	342,40	351,35	360,42
10	369,60	378,90	388,31	397,84	407,48	417,24	427,12	437,11
11	447,22	457,44	467,78	478,23	488,80	499,48	510,28	521,19
				Мѣдь красная.				
0	0,000	0,067	0,267	0,601	1,068	1,669	2,403	3,271
1	4,272	5,407	6,675	8,077	9,612	11,28	13,08	15,02
2	17,09	19,29	21,63	24,10	26,70	29,44	32,31	35,31
3	38,45	41,72	45,12	48,66	52,33	56,14	60,08	64,15
4	68,35	72,69	77,16	81,77	86,51	91,38	96,39	101,53
5	106,80	112,21	117,75	123,42	129,23	135,17	141,24	147,45
				Мѣдь зеленая (латунь).				
0	0,000	0,064	0,255	0,574	1,020	1,594	2,295	3,124
1	4,080	5,164	6,375	7,714	9,180	10,77	12,50	14,34
2	16,32	18,42	20,66	23,01	25,50	28,11	30,86	33,72
3	36,72	39,84	43,10	46,47	49,98	53,61	57,38	61,26
4	65,28	69,42	73,70	78,09	82,62	87,27	92,06	96,96
5	102,00	107,16	112,46	117,87	123,42	129,09	134,90	140,82

Сторона сѣченія въ дм.	1/16	3/16	5/16	7/16	9/16	11/16	13/16	15/16
				Желѣзо.				
0	0,014	0,130	0,361	0,707	1,169	1,747	2,440	3,248
1	4,172	5,212	6,367	7,637	9,023	10,52	12,14	13,87
2	15,72	17,69	19,76	21,96	24,27	26,69	29,24	31,89
				Мѣдь красная.				
0	0,017	0,150	0,417	0,818	1,352	2,019	2,820	3,755
1	4,823	6,024	7,359	8,828	10,43	12,17	14,03	16,04
2	18,17	20,44	22,85	25,38	28,05	30,86	33,79	36,86
				Мѣдь зеленая (латунь).				
0	0,016	0,143	0,398	0,781	1,291	1,928	2,693	3,586
1	4,606	5,753	7,028	8,431	9,961	11,62	13,40	15,32
2	17,36	19,52	21,82	24,24	26,79	29,47	32,27	35,21

10. Таблица вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута круглаго желѣза, мѣди красной и зеленой.

Діаметръ сѣченія въ дм.	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
			Желѣзо.					
0	0,000	0,045	0,181	0,408	0,726	1,134	1,633	2,222
1	2,903	3,674	4,536	5,488	6,531	7,665	8,890	10,21
2	11,61	13,11	14,70	16,37	18,14	20,00	21,95	23,99
3	26,13	28,35	30,66	33,07	35,56	38,15	40,82	43,59
4	46,45	49,39	52,43	55,56	58,78	62,09	65,50	68,99
5	72,57	76,24	80,01	83,86	87,81	91,85	95,98	100,19
6	104,50	108,90	113,39	117,97	122,64	127,41	132,26	137,20
7	142,24	147,36	152,58	157,89	163,28	168,77	174,35	180,02
8	185,78	191,63	197,57	203,61	209,73	215,94	222,25	228,64
9	235,13	241,71	248,37	255,13	261,98	268,92	275,95	283,07
10	290,28	297,59	304,98	312,46	320,04	327,70	335,46	343,30
11	351,24	359,26	367,38	375,59	383,89	392,28	400,76	409,33
			Мѣдь красная.					
0	0,000	0,052	0,210	0,472	0,839	1,311	1,887	2,569
1	3,355	4,246	5,243	6,343	7,549	8,860	10,28	11,80
2	13,42	15,15	16,99	18,93	20,97	23,12	25,37	27,73
3	30,20	32,77	35,44	38,22	41,10	44,09	47,18	50,38
4	53,68	57,09	60,60	64,22	67,94	71,77	75,70	79,74
5	83,88	88,13	92,48	96,93	101,50	106,16	110,93	115,81
			Мѣдь зеленая (латунь).					
0	0,000	0,050	0,200	0,451	0,801	1,252	1,802	2,453
1	3,204	4,056	5,007	6,058	7,210	8,462	9,814	11,27
2	12,82	14,47	16,22	18,07	20,03	22,08	24,23	26,49
3	28,84	31,29	33,85	36,50	39,25	42,11	45,06	48,12
4	51,27	54,53	57,88	61,33	64,89	68,54	72,30	76,16
5	80,11	84,17	88,32	92,58	96,93	101,39	105,95	110,60

Діаметръ сѣченія въ дм.	1/16	3/16	5/16	7/16	9/16	11/16	13/16	15/16
			Желѣзо.					
0	0,011	0,102	0,283	0,556	0,918	1,372	1,916	2,551
1	3,277	4,093	5,001	5,998	7,087	8,266	9,536	10,90
2	12,35	13,89	15,52	17,25	19,06	20,97	22,96	25,05
			Мѣдь красная.					
0	0,013	0,118	0,328	0,642	1,062	1,586	2,215	2,949
1	3,788	4,731	5,780	6,933	8,191	9,555	11,02	12,60
2	14,27	16,06	17,94	19,93	22,03	24,23	26,54	28,95
			Мѣдь зеленая (латунь).					
0	0,013	0,113	0,313	0,613	1,014	1,515	2,115	2,816
1	3,618	4,519	5,520	6,622	7,823	9,125	10,53	12,03
2	13,63	15,33	17,14	19,04	21,04	23,14	25,35	27,65

11. Таблица вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута шиннаго желѣза.

Ширина въ дм.	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
Толщина = 1/20 дм.								
1	0,185	0,208	0,231	0,254	0,277	0,300	0,323	0,347
2	0,370	0,393	0,416	0,439	0,462	0,485	0,508	0,531
3	0,554	0,578	0,601	0,624	0,647	0,670	0,693	0,716
Толщина = 1/18 дм.								
1	0,205	0,231	0,257	0,282	0,308	0,334	0,359	0,385
2	0,411	0,436	0,462	0,488	0,513	0,539	0,565	0,590
3	0,616	0,642	0,667	0,693	0,719	0,744	0,770	0,796
Толщина = 1/16 дм.								
1	0,231	0,260	0,289	0,318	0,347	0,375	0,404	0,433
2	0,462	0,491	0,520	0,549	0,578	0,606	0,635	0,664
3	0,693	0,722	0,751	0,780	0,809	0,837	0,866	0,895
Толщина = 1/14 дм.								
1	0,264	0,297	0,330	0,363	0,396	0,429	0,462	0,495
2	0,528	0,561	0,594	0,627	0,660	0,693	0,726	0,759
3	0,792	0,825	0,858	0,891	0,924	0,957	0,990	1,023
Толщина = 1/12 дм.								
1	0,308	0,347	0,385	0,424	0,462	0,501	0,539	0,578
2	0,616	0,655	0,693	0,732	0,770	0,809	0,847	0,886
3	0,924	0,963	1,001	1,040	1,078	1,117	1,155	1,194
Толщина = 1/10 дм.								
1	0,370	0,416	0,462	0,508	0,554	0,601	0,647	0,693
2	0,739	0,785	0,832	0,878	0,924	0,970	1,016	1,063
3	1,109	1,155	1,201	1,247	1,294	1,340	1,386	1,432

12. Таблица вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута угловаго желѣза.

Толщина сторонъ въ дюйм.	Равностороннее желѣзо.					Неравностороннее желѣзо.				
	Ширина каждой изъ сторонъ въ дм.					Ширина сторонъ въ дм.				
	1 1/4	1 5/8	2 1/8	2 5/8	3 1/8	1 и 1 1/2	1 1/2 и 2	2 и 2 1/2	2 и 3	2 1/2 и 3
3/16	1,795	2,349	3,058	3,789	4,520	1,795	2,537	3,246	3,623	3,966
1/4	2,415	3,124	4,100	5,052	6,027	2,415	3,379	4,343	4,820	5,307
5/16	3,014	3,900	5,118	6,315	7,534	3,014	4,232	5,429	6,027	6,625
3/8	3,612	4,676	6,138	7,578	9,041	3,612	5,192	6,515	7,235	7,944
7/16	4,210	5,451	7,180	8,841	10,55	4,210	5,927	7,600	8,442	9,262
1/2	4,831	6,271	8,200	10,13	12,03	4,831	6,747	8,675	9,639	10,71
9/16			9,218	11,39	13,54			9,761	10,83	11,91
5/8			10,24	12,65	15,05			10,83	12,04	13,24
11/16				13,92	16,55				13,24	14,54
3/4				15,18	18,06				14,46	15,89

Ширина сторонъ считается между внѣшними ихъ ребрами, а толщина на ихъ срединѣ.

13. Таблица вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута тавроваго желѣза.

Желѣзо одинаковой ширины и высоты.					Желѣзо разной ширины и высоты.					
Ширина пояса и выс. сѣч. въ дм.	Толщина въ дм.		Площадь сѣченія въ кв. дм.	Вѣсъ въ фунт.	Поясъ		Высота сѣченія въ дм.	Толщина ребра въ дм.	Площадь сѣченія въ кв. дм.	Вѣсъ въ фунт.
	пояса.	ребра.			ширина въ дм.	толщина въ дм.				
3/4	1/8	1/8	0,1719	0,635	3/4	3/16	1	3/16	0,2930	1,083
7/8	1/8	1/8	0,2031	0,751	1	3/16	1 1/4	3/16	0,3867	1,429
1	3/16	3/16	0,3398	1,256	1 1/4	1/4	1 1/2	/4	0,6250	2,310
1 1/4	3/16	3/16	0,4336	1,603	1 1/2	1/4	2	1/4	0,8125	3,003
1 1/4	1/4	1/4	0,5625	2,079	1 3/4	1/4	1 1/2	1/4	0,7500	2,772
1 1/2	3/16	3/16	0,5273	1,949	1 3/4	1/4	2	1/4	0,8750	3,234
1 1/2	1/4	1/4	0,6875	2,541	2	1/4	1 3/4	1/4	0,9688	3,581
1 3/4	1/4	1/4	0,8125	3,003	2	5/16	1 1/2	5/16	0,9961	3,682
2	1/4	1/4	0,9375	3,465	2 1/4	3/16	2	3/8	1,3359	4,938
2	5/16	5/16	1,1523	4,259	2 1/2	3/8	3	3/8	1,9219	7,103
2 1/4	5/16	5/16	1,3086	4,837	3	5/16	2	5/16	1,4648	5,414
2 1/4	5/16	3/8	1,4297	5,284	3	3/8	4	3/8	2,4844	9,182
2 1/2	5/16	5/16	1,4648	5,414	3	3/8	4	1/2	3,3125	12,24
2 1/2	3/8	3/8	1,7344	6,411	3 1/2	3/8	3	3/8	2,2969	8,489
2 1/2	3/8	1/2	2,0000	7,392	3 1/2	1/2	4	1/2	3,5000	12,94
3	3/8	3/8	2,1094	7,796	4	3/8	3	3/8	2,4844	9,182
3 1/2	3/8	3/8	2,4814	9,182	4	3/8	2 1/2	1/2	2,5985	9,471
4	3/8	3/8	3,0156	10,57	4 1/2	1/2	3 1/2	1/2	3,7500	13,86
4	7/8	7/8	6,2344	23,04	4 1/2	1/2	3 1/4	9/16	3,7969	14,03
5	7/16	7/16	4,1836	15,46	4 3/8	1/2	3 1/4	5/8	3,9063	14,44
6	1/2	1/2	5,7500	21,25	5	1/2	6	1/2	5,2500	19,45

14. Таблица вѣса, въ фунтахъ, погоннаго фута двутавроваго желѣза.

Высота сѣченія въ дм.	Толщина ребра въ дм	Верхній поясъ		Нижній поясъ.		Вѣсъ въ фунт.
		ширина въ дм.	толщина въ дм.	ширина въ дм.	толщина въ дм.	
2	5/8	3	3/8	1 1/2	7/8	9,97
2 1/2	5/8	3	5/8	1 3/4	7/8	13,29
3	5/8	4	1/2	2	1	17,72
7	5/16	4	3/8	2 1/2	1	21,05
8	3/8	4	7/16	2 3/4	1 1/8	24,37
9	7/16	4 1/2	7/16	3	1 1/8	29,90

15. Таблица вѣса, въ фунтахъ, чугунныхъ шаровъ.

Діаметръ шара въ дюймахъ.	0	1/4	1/2	3/4	Діаметръ шара въ дюймахъ.	0	1/4	1/2	3/4
1	0,15	0.29	0,51	0,81	7	51,72	57,46	63,62	70,19
2	1,21	1,72	2,36	3,14	8	77,21	84,67	92,61	101,02
3	4,07	5,18	6,47	7,95	9	109,93	119,35	129,29	139,77
4	9,65	11,58	13,74	16,16	10	150,80	162,40	174,56	187,33
5	18,85	21,82	25,09	28,67	11	200,71	214,70	229,34	244,63
6	32,57	36,82	41,41	46,38	12	260,56	277,20	294,52	312,55

16. Таблица вѣса, въ фунтахъ, желѣзныхъ заклепокъ.

Діаметръ заклепки въ дюйм.	Вѣсъ 100 заклепокъ для шва		Вѣсъ заклепокъ на погонный футъ шва		Діаметръ заклепки въ дюйм.	Вѣсъ 100 заклепокъ для шва		Вѣсъ заклепокъ на погонный футъ шва	
	плотнаго и прочн.	прочнаго.	плотнаго и прочн.	прочнаго.		плотнаго и прочн.	прочнаго.	плотнаго и прочн.	прочнаго.
1/8	0,144	0,288	0,055	0,054	1 1/8	106,48	209,02	4,412	4,331
1/4	1,16	2,30	0,217	0,214	1 1/4	146,07	286,72	5,446	5,346
3/8	3,95	7,75	0,491	0,481	1 3/8	194,40	381,61	6,591	6,[illegible]
1/2	9,35	18,35	0,872	0,855	1 1/2	252,40	495,45	7,844	7,698
5/8	18.26	35,84	1,362	1,336	1 5/8	320,90	629,92	9,206	9,035
3/4	31,55	61,93	1,960	1,925	1 3/4	400,80	786,75	10,675	10,478
7/8	50,10	98,34	2,669	2,620	1 7/8	492,97	967,66	12,256	12,029
1	74,78	146,80	3,486	3,422	2	598,27	1174,40	13,955	13,686

17. Таблица вѣса желѣзныхъ гвоздей, для строительныхъ работъ.

(По урочному на строительныя работы положенію).

Названіе гвоздей.	Длина гвоздя въ дм.	Число гвоздей въ пудѣ.	Вѣсъ 100 гвоздей въ фунт.	Названіе гвоздей.	Длина гвоздя въ дм.	Число гвоздей въ пудѣ.	Вѣсъ 100 гвоздей въ фунт.
Корабельные. . .	6	150	26,667	Петельные, навѣсные или кругло-шляпные. . . .	4	700	5,7143
	7	120	33,333		5	500	8,0000
	8	100	40,000		6	350	11,4286
	9	85	47,059		7	250	16,0000
	10	75	53,333		8	200	20,0000
	11	65	61,538				
	12	55	72,727	Костыльковые . .	1	16000	0,2500
	13	45	88,889		2	6000	0,6667
	14	40	100,000		3	2000	2,0000
	15	35	114,286		4	1200	3,3333
					5	800	5,0000
Полукорабельн. .	6	150	26,667		6	560	7,1429
	7	120	33,333		7	400	10,0000
	8	100	40,000				
				Тесовые или крышечные. однотесъ	2	5000	0,8000
Заершенные или закрѣпы. . . .	4	150	26,667		3	2000	2,0000
	5	100	40,000	двоетесъ	4	1200	3,3333
	6	85	47,059	троетесъ	5	800	5,0000
	7	70	57,143		6	560	7,1429
	8	60	66,667		7	400	10,0000
Брусковые. . . .	4	1200	3,333	Кровельные	3	3000	1,3333
	5	800	5,000	Купорные	2 1/2	4000	1,0000
	6	560	7,143	Шиалерные	1/4	30000	0,1333
	7	400	10,000	Подковные.	—	3000	1,3333
	8	300	13,333	Гонтовые.	—	4400	0,9091
	9	250	16,000	Штукатурные. . . .	—	13000	0,3077
	10	200	20,000				

Новый двигатель Отто въ соединеніи съ приборомъ для полученія генераторнаго газа.

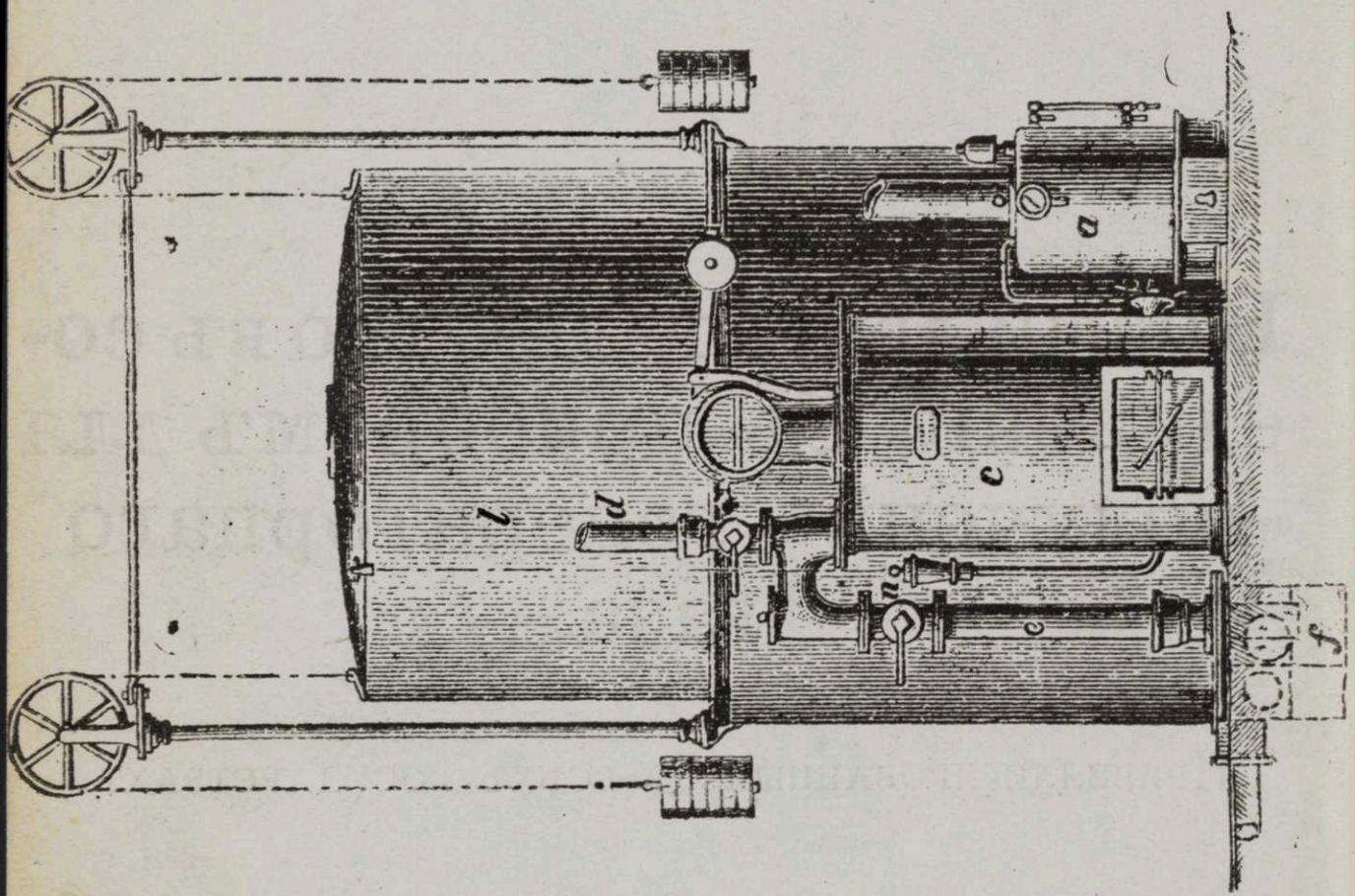
Привиллегированный во всѣхъ государствахъ.

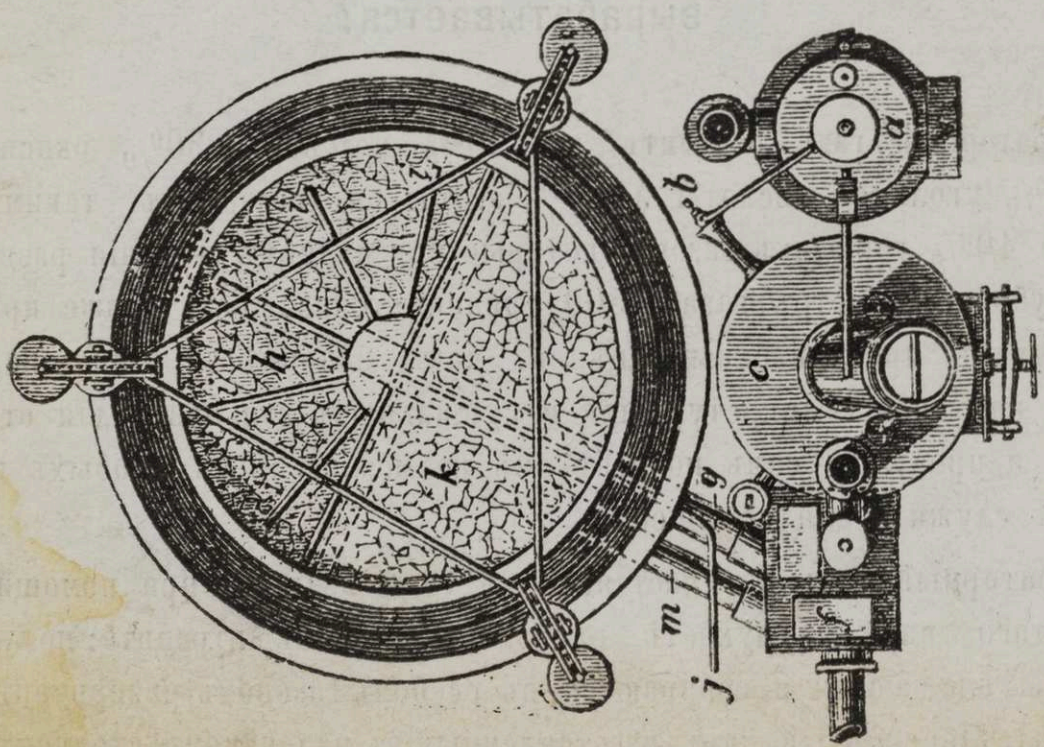
Что такое генераторный газъ и какимъ образомъ онъ вырабатывается?

Генераторный газъ состоитъ изъ 20% водорода, 30% окиси углерода, 3% угольной кислоты и 47% азота; онъ содержитъ, такимъ образомъ, до 40% горючихъ газовъ, которые при полномъ сгораніи развиваютъ на 1 кубическій метръ газа 1500 единицъ тепла. Газъ также пригоденъ для другихъ промышленныхъ цѣлей, какъ напримѣръ: для опаливанія тканей, нагрѣванія аппретурныхъ и сушильныхъ вальцовъ, для отопленія и проч. и проч., но самъ по себѣ онъ не можетъ безъ особыхъ приспособленій служить для освѣщенія.

Генераторный газъ получается, если токъ воздуха, при помощи струи перегрѣтаго пара, продуваетъ раскаленный столбъ антрацита; получаемые продукты очищаются и собираются въ особомъ газовомъ резервуарѣ (газгольдерѣ). Перегрѣтый паръ, изготовленный въ маленькомъ стоячемъ паровичкѣ, вдувается посредствомъ инжектора подъ колосники генератора.

Описаніе прибора для полученія генераторнаго газа.





a—паровой котелъ съ перегрѣвателемъ, *b*—инжекторъ, *c*—газообразователь (генераторъ), *d*—выходная труба, *f*—сифонъ, *g*—труба къ газовому резервуару (газгольдеру) *h*; *k*—скрубберъ (очиститель), *i*—водобрызгательныя трубы, *j*—водопроводныя трубы, *l*—газовый резервуаръ (газгольдеръ), *m*—выходная труба изъ послѣдняго, *n*—паро- и воздухопродувные вентили.

Горючіе матеріалы для газоваго аппарата.

Для образованія газа въ генераторѣ употребляется антрацитъ. Для отопленія паровичка годится газовый коксъ или другое подходящее топливо.

Расходъ топлива.

Газовый двигатель расходуетъ при работѣ полною силою выработанное изъ $2^1/_2$ фунтовъ антрацита количество газа и поэтому расходъ топлива ни въ какомъ случаѣ не превыситъ $2^1/_2$ фунтовъ въ часъ на дѣйствительную (т. е. полезную) силу.

Протоколъ объ измѣреніи работы и о расходѣ газа для двигателя „Отто“ съ генераторнымъ газомъ.

Нижеподписавшіеся по просьбѣ завода газовыхъ двигателей „Дейцъ“ произвели опыты относительно работы и расхода 40-сильнаго газоваго двигателя „Отто“, дѣйствующаго генераторнымъ газомъ.

Газъ изготовляется въ закрытомъ аппаратѣ, конструкція котораго патентована. Пароструйный аппаратъ продуваетъ смѣсь перегрѣтаго водянаго пара и атмосфернаго воздуха чрезъ столбъ раскаленнаго угля, при чемъ образуется водородъ и окись углерода.

Двигатель лежачій съ двумя цилиндрами по патенту *D. R. P.* 532 и 2735, діаметромъ цилиндра 340 м/м, ходъ поршня 600 м/м; регулированіе перестѣчкой.

Двигатель работалъ подъ тормазомъ. Длина выбалансированнаго тормазнаго рычага 1,433 м., поэтому полезная работа

$$N = \frac{2\ n.\ l.\ n\ P}{60.75} = \frac{2\ n.\ 1{,}433\ n\ P}{60.75}$$

$$N = 0.00200\ n\ P.$$ лош. силъ.

Послѣ двухчасоваго ровнаго хода безъ измѣренія отъ 11 час. до 1 час. было:

Груза рычага	$P = 191$ клгр.
Число оборотовъ (полное). . .	2×8426
Число обор. въ минуту . . .	$n = 140{,}4$
Работа	$N = 53{,}63$ лош. сил.

При разгруженномъ рычагѣ и грузомъ $P=181$ производилось отъ 1 до 5 часовъ

2×16863 оборотовъ, т. е. въ минуту . . . $n=140,5$

работа . . . . . 50,86 л. .

Въ 5 часовъ машину остановили; она развивала поэтому въ продолженіи 2-хъ часовъ 53.63 с. = 107.26 лошадей—часовъ

и 4 „ 50.86 = 203.44 „ „

Всего . . . . 310.70 лошадей—часовъ

Газовый генераторъ наполнялся антрацитомъ въ кускахъ 13—25 м. величины и уровень угля держался на одинаковой высотѣ. Маленькій котелокъ для производства перегрѣтаго пара топился газовымъ коксомъ. Питательная паровичка производилось паровой донкой дѣйствующей паромъ изъ того же котла. Газъ очищался скруббероmъ и поступалъ въ газгольдеръ 4.6 м. метромъ. Колпакъ послѣдняго опустился отъ 11 час. до 1 час. на 2.085 метра, а потомъ оставался на одинаковой высотѣ и былъ наполненъ послѣ остановки двигателя вновь, такъ что расходовавшіеся матеріалы употреблялись для питанія двигателя.

Расходовалось.	отъ 11—1 час.	отъ 1 час. до 5 час. 17 м.	отъ 11 час до 5 час. 17 .
Антрацитъ въ генераторѣ. . .	74 клгр.	136.5 клгр.	210.5 клгр.
Коксъ подъ паровикъ	8 „	19 „	27
Горючіе матеріалы всего . . .	82 „	155.5 „	237.5
Питательная вода	50 „	118 „	168.0

Съ общимъ расходомъ топлива въ 237.5 клгр. получено вышесказанное количество 310.7 часов. лошад.; поэтому

Расходъ топлива на силу въ часъ 0.7644 клгр.

въ томъ числѣ антрацита въ генераторъ 0.677 клгр. и газоваго кокса въ котелъ 0.0869 клгр. Расходъ пара для изготовленія газа и для питанія котла въ часъ на силу 0.54 клгр. (т. е. въ 6 разъ болѣе противъ потребляемаго кокса). Среднее давленіе пара было 3.65 атмосферъ.

Штутгартъ 19 апрѣля 1887 г.

К. Тейхманъ,

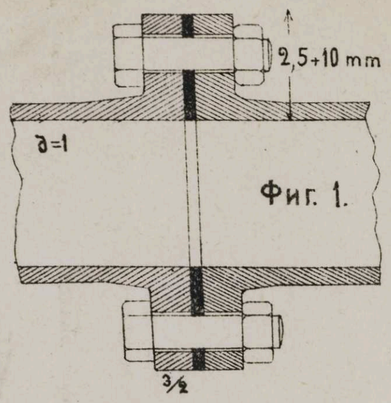
профессоръ Королевск. Политехн. Учил. Штутгарта.

Дюссельдорфъ 25 мая 1887

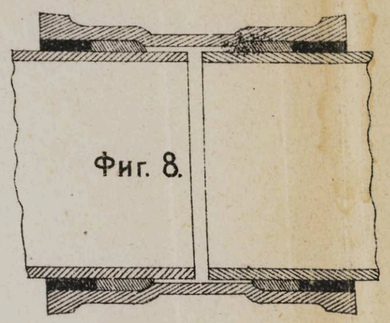
Dr. Бекингъ,

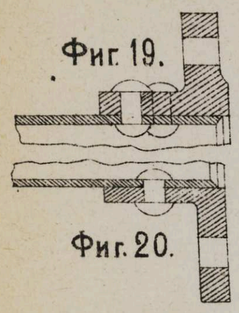
главный инженеръ товарищества по ревизіи паровиковъ.

Соединенія трубъ

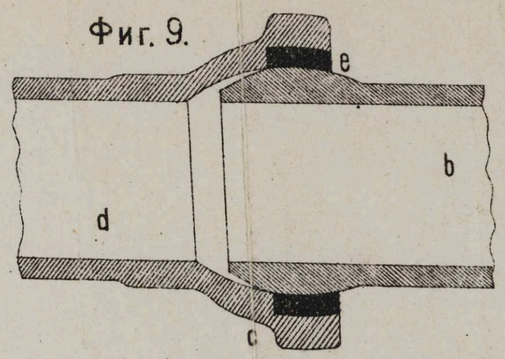


Фиг. 1.

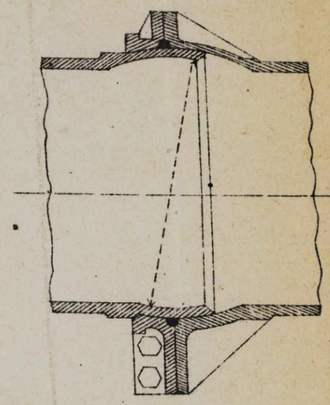

Фиг. 8.

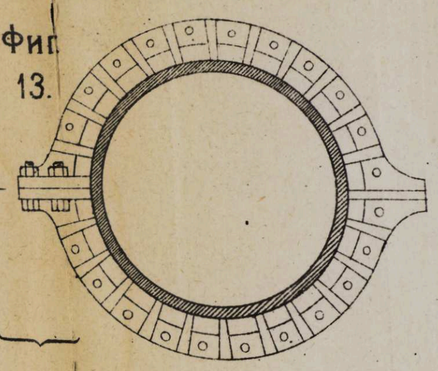

Фиг. 19.

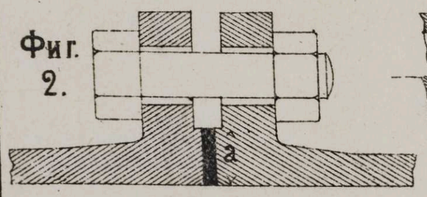
Фиг. 20.



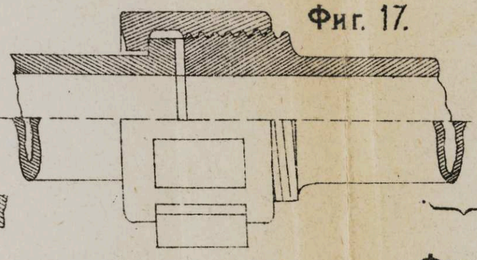
Фиг. 9.

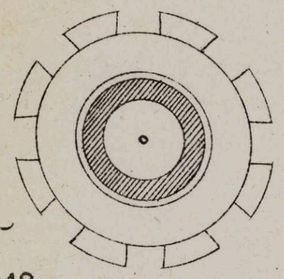


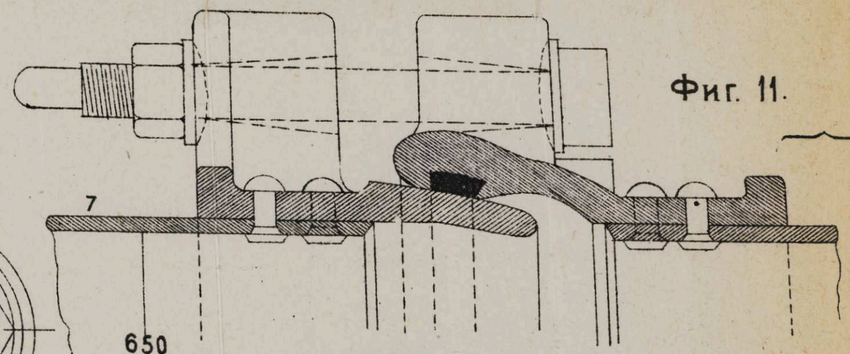

Фиг. 13.



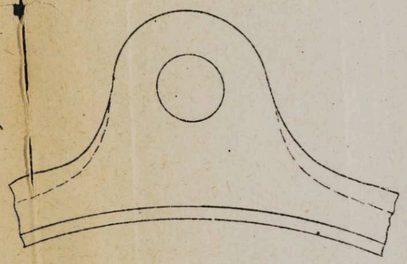
Фиг. 2.

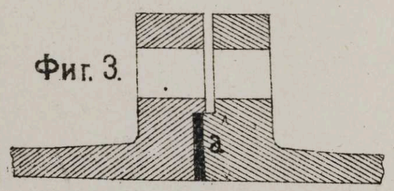

Фиг. 17.



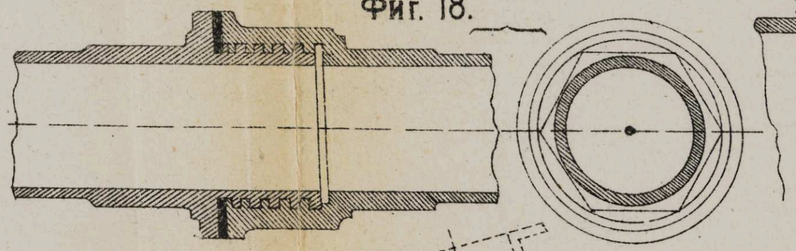


Фиг. 11.

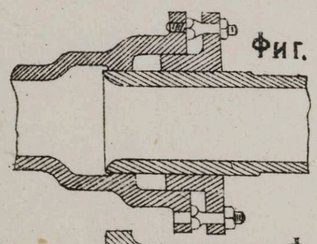


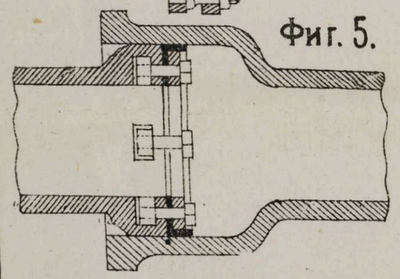


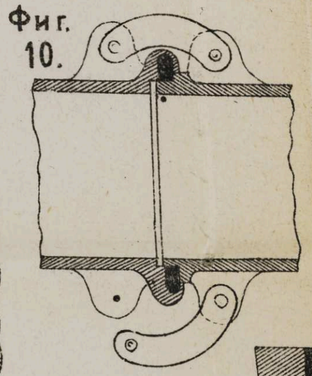
Фиг. 3.

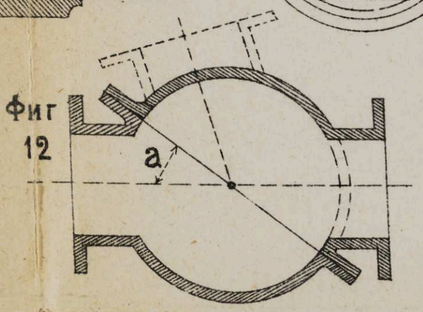

Фиг. 18.

3 винта на окружности

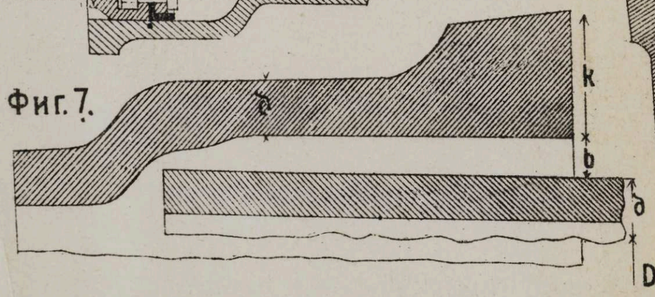

Фиг. 4.


Фиг. 5.

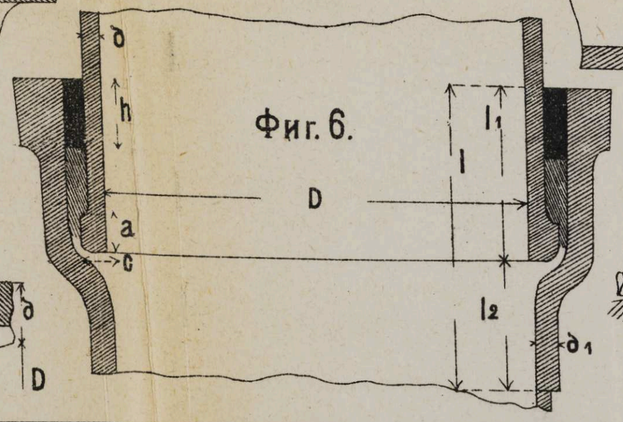

Фиг. 10.



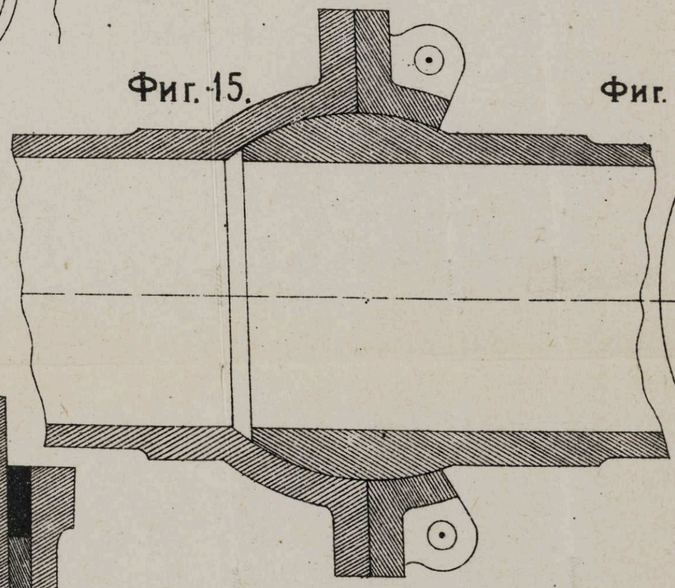
Фиг 12

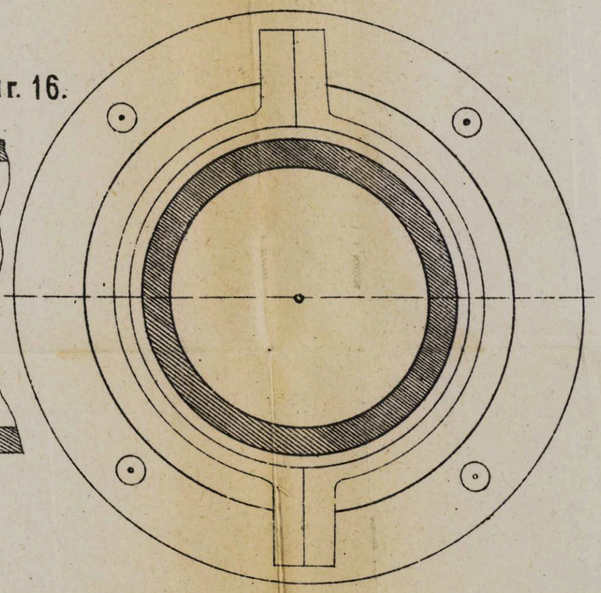


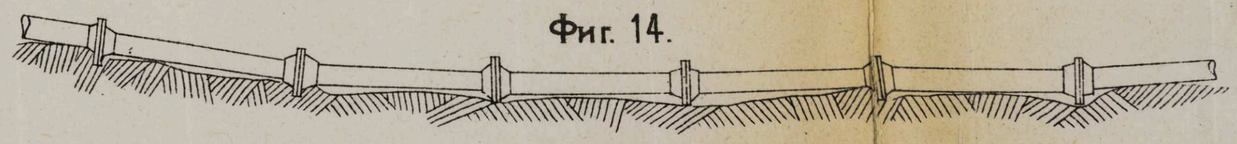
Фиг. 7.



Фиг. 6.


Фиг. 15.


Фиг. 16.

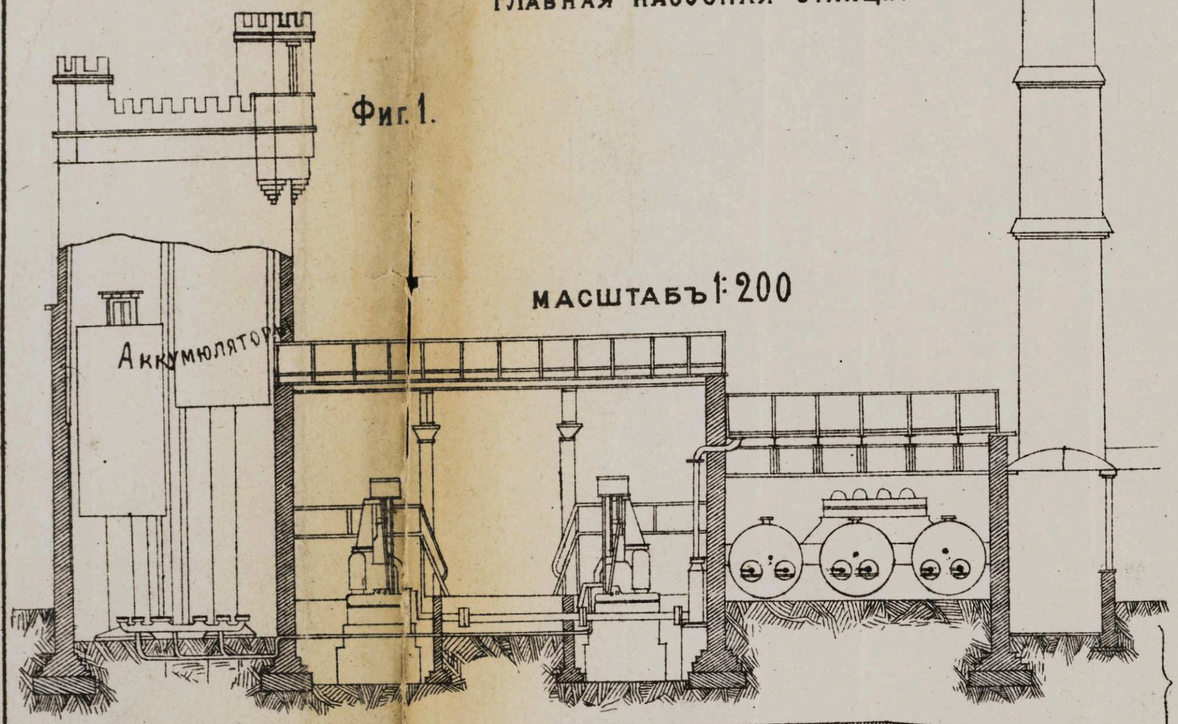

Фиг. 14.

Гидравлическая передача силы въ Лондонѣ.

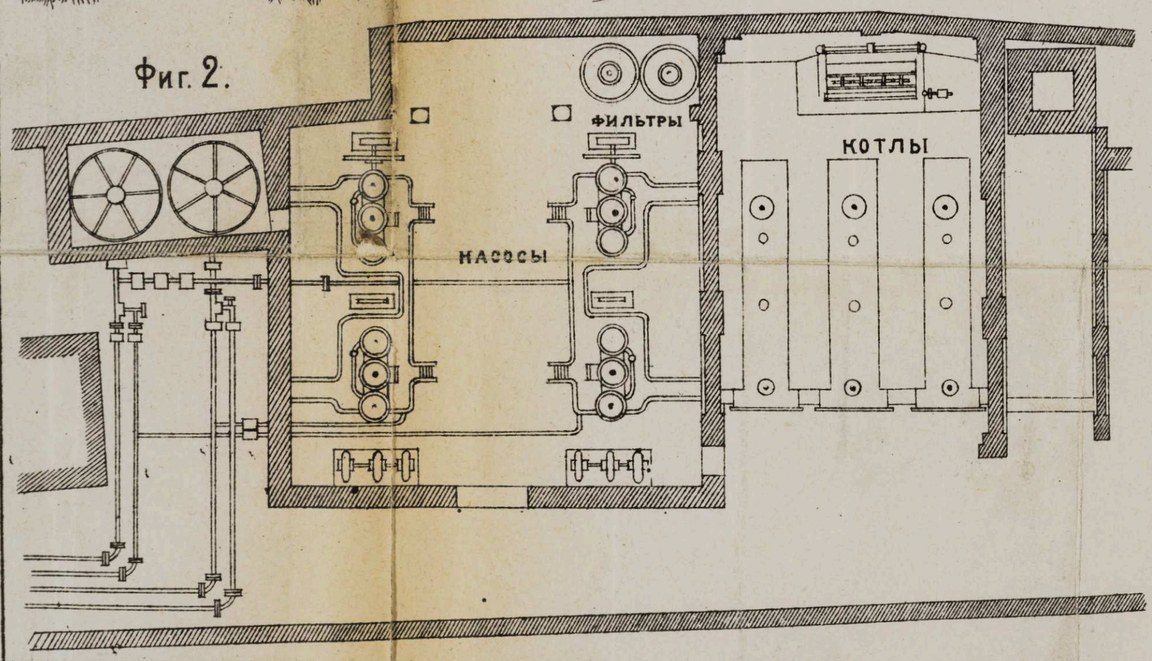
ГЛАВНАЯ НАСОСНАЯ СТАНЦІЯ

Фиг. 1.

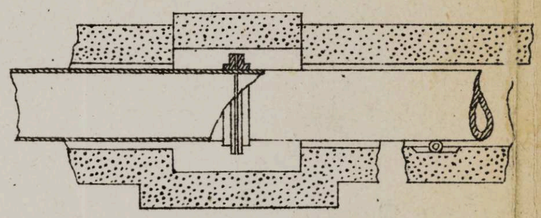
МАСШТАБЪ 1:200



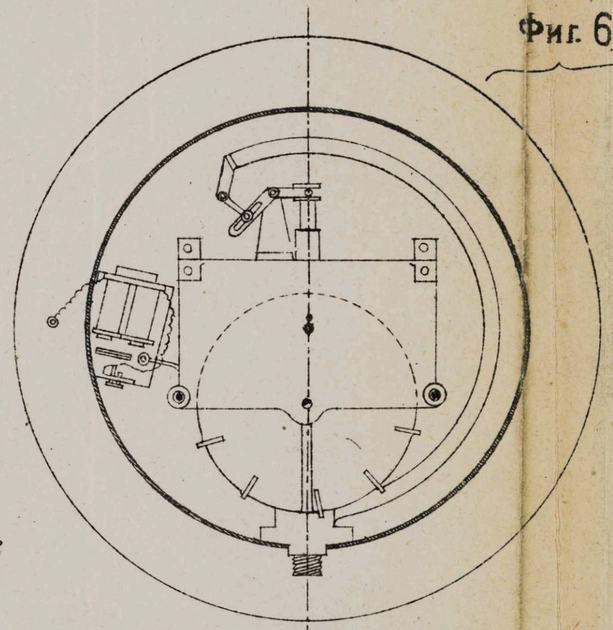
Фиг. 2.

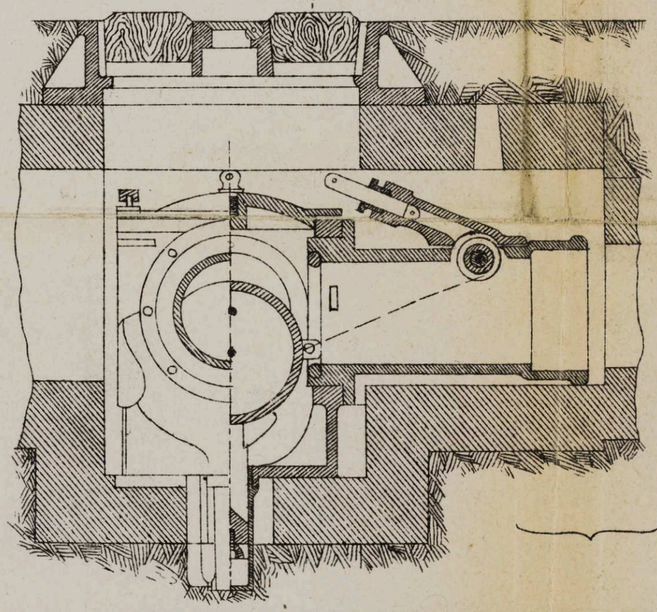


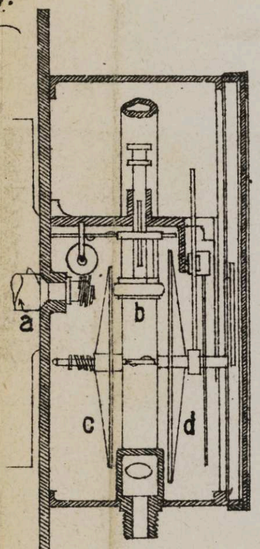
Фиг. 3.



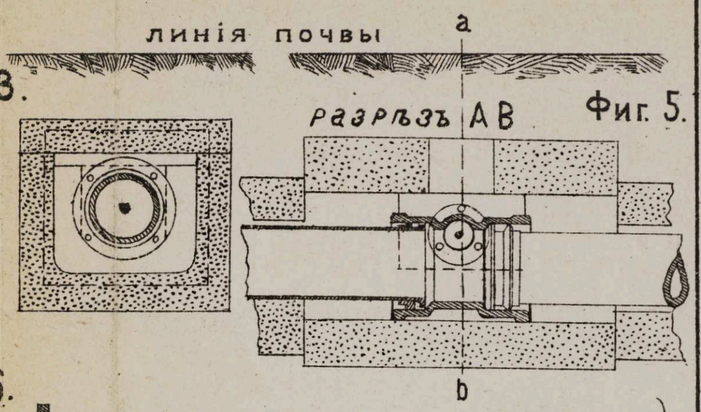
Фиг. 6.

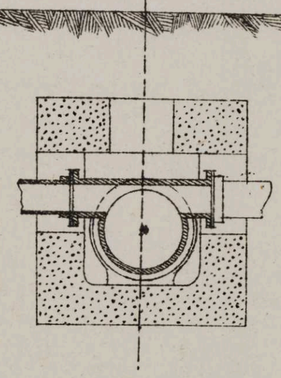






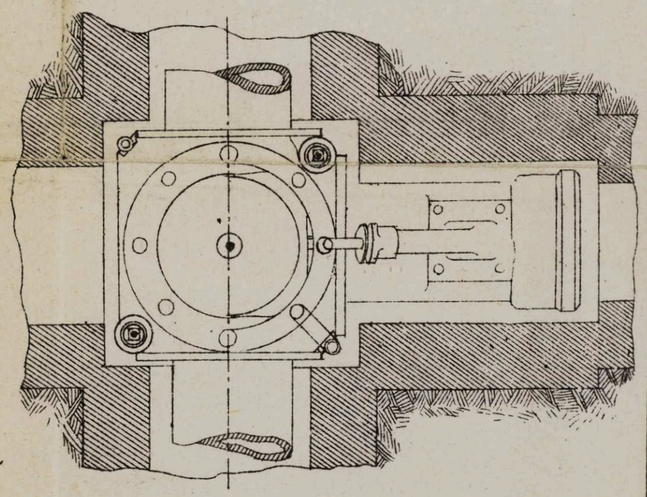
Фиг. 5.





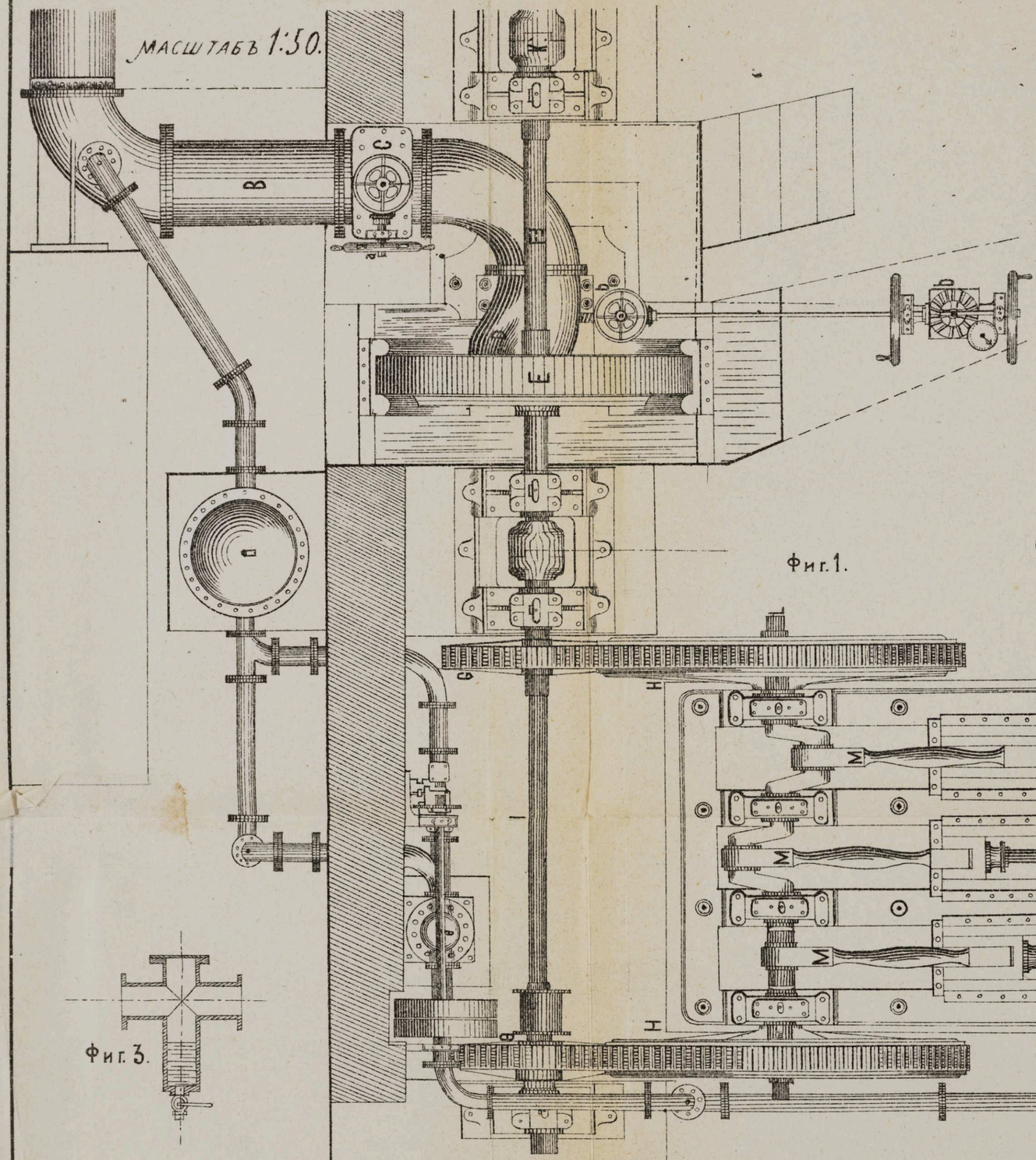
Передача силы помощію сжатаго воздуха въ Бирмингамѣ.

Фиг. 4.



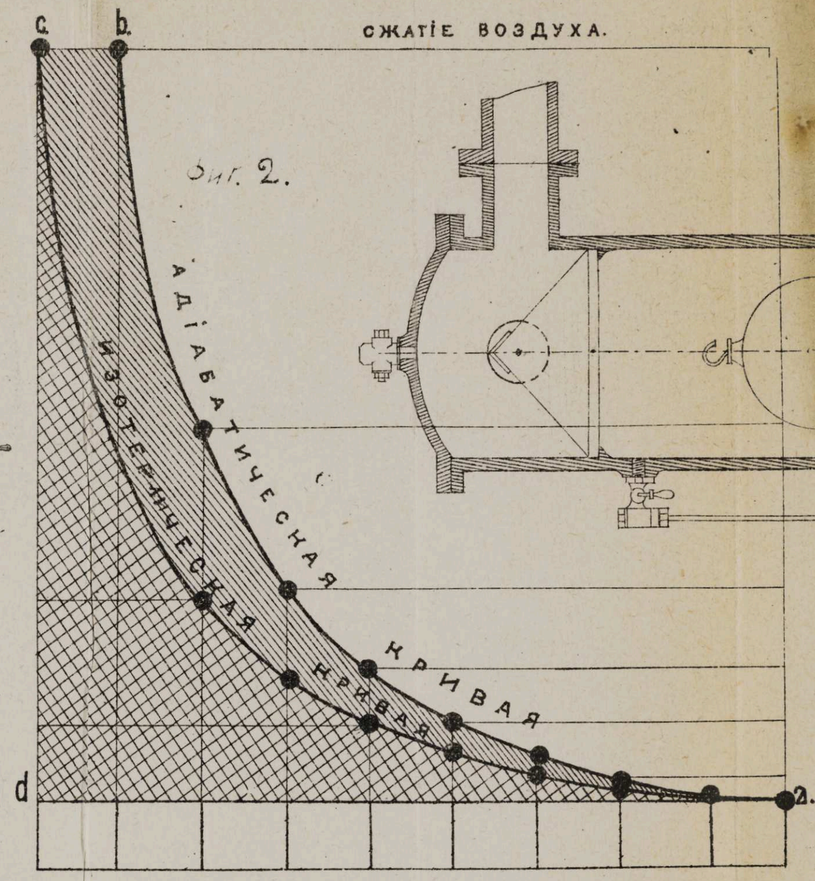
Устройство воздушныхъ компрессаторовъ въ Гешененѣ

Масштабъ 1:30.



Фиг. 1.

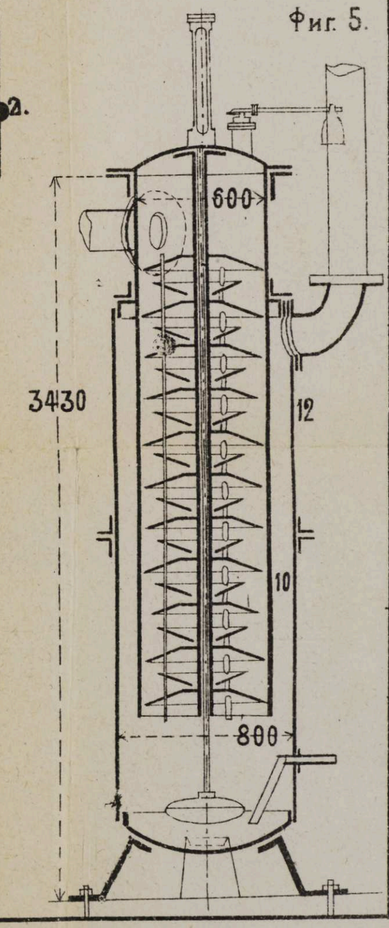
Фиг. 3.



Фиг. 2.

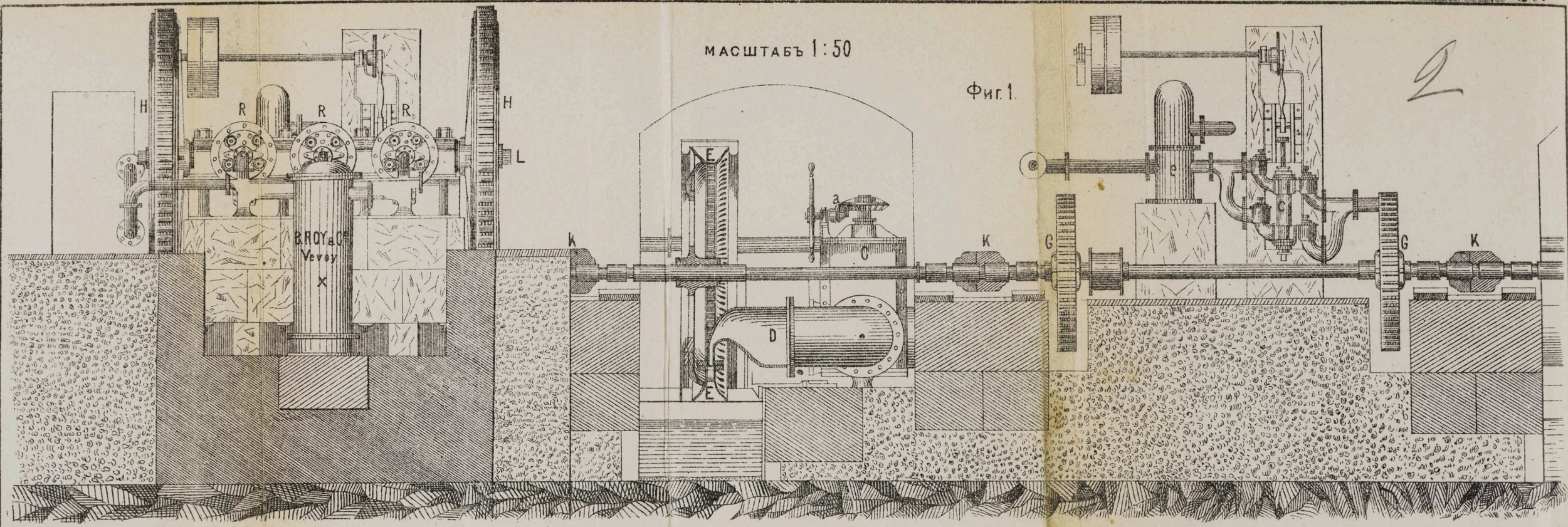
Фиг. 4.

Фиг. 5.

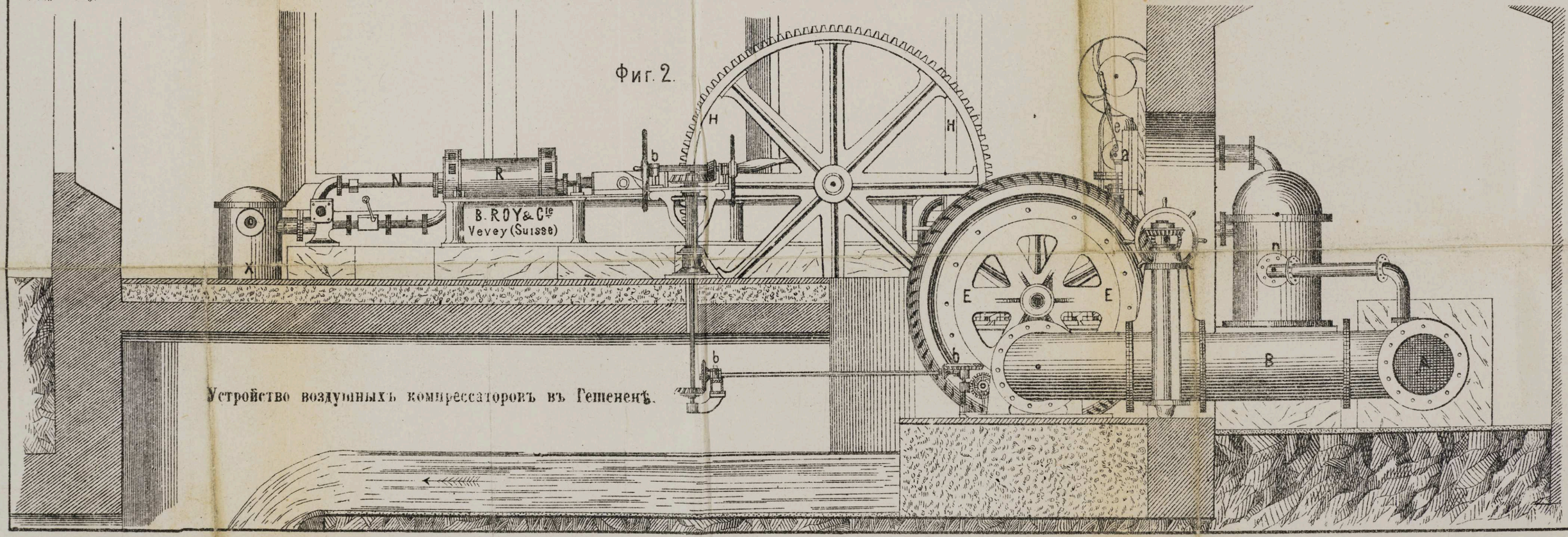


МАСШТАБЪ 1:50

Фиг. 1.



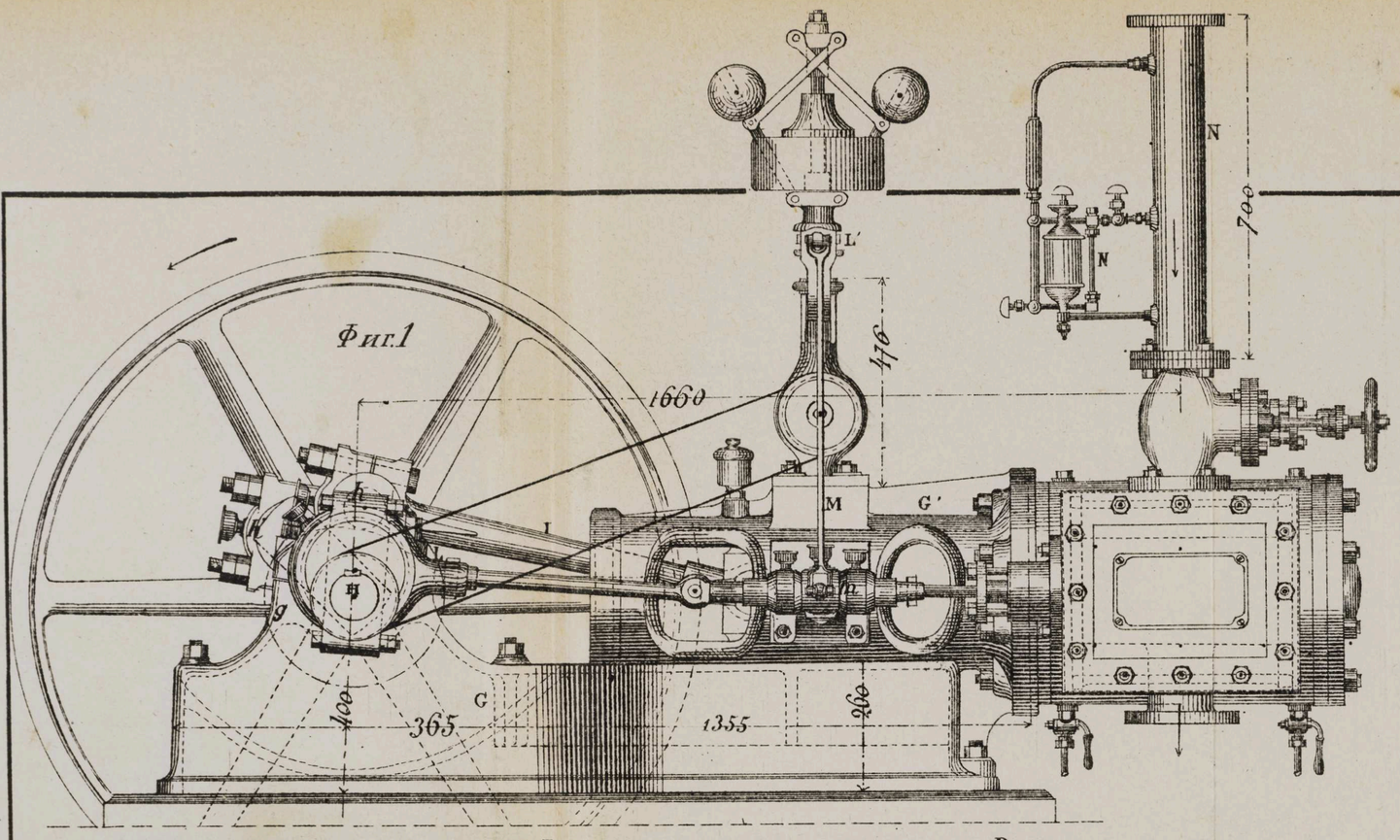
Фиг. 2.



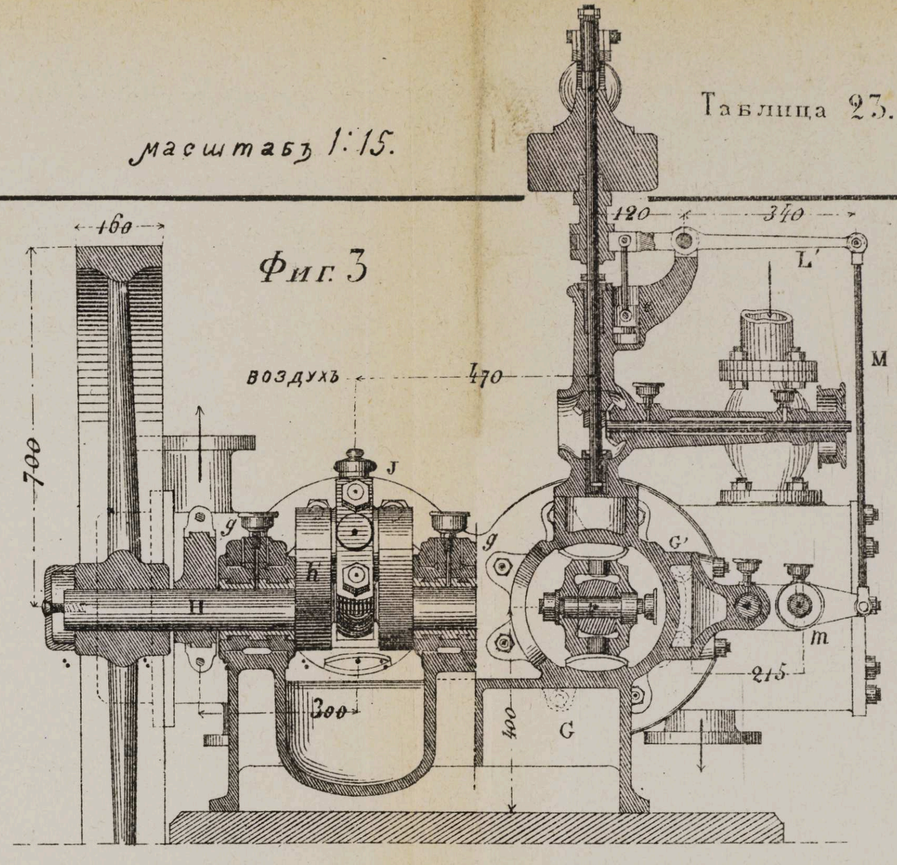
Устройство воздушныхъ компрессаторовъ въ Гешенент.

масштабъ 1:15.

Фиг. 1

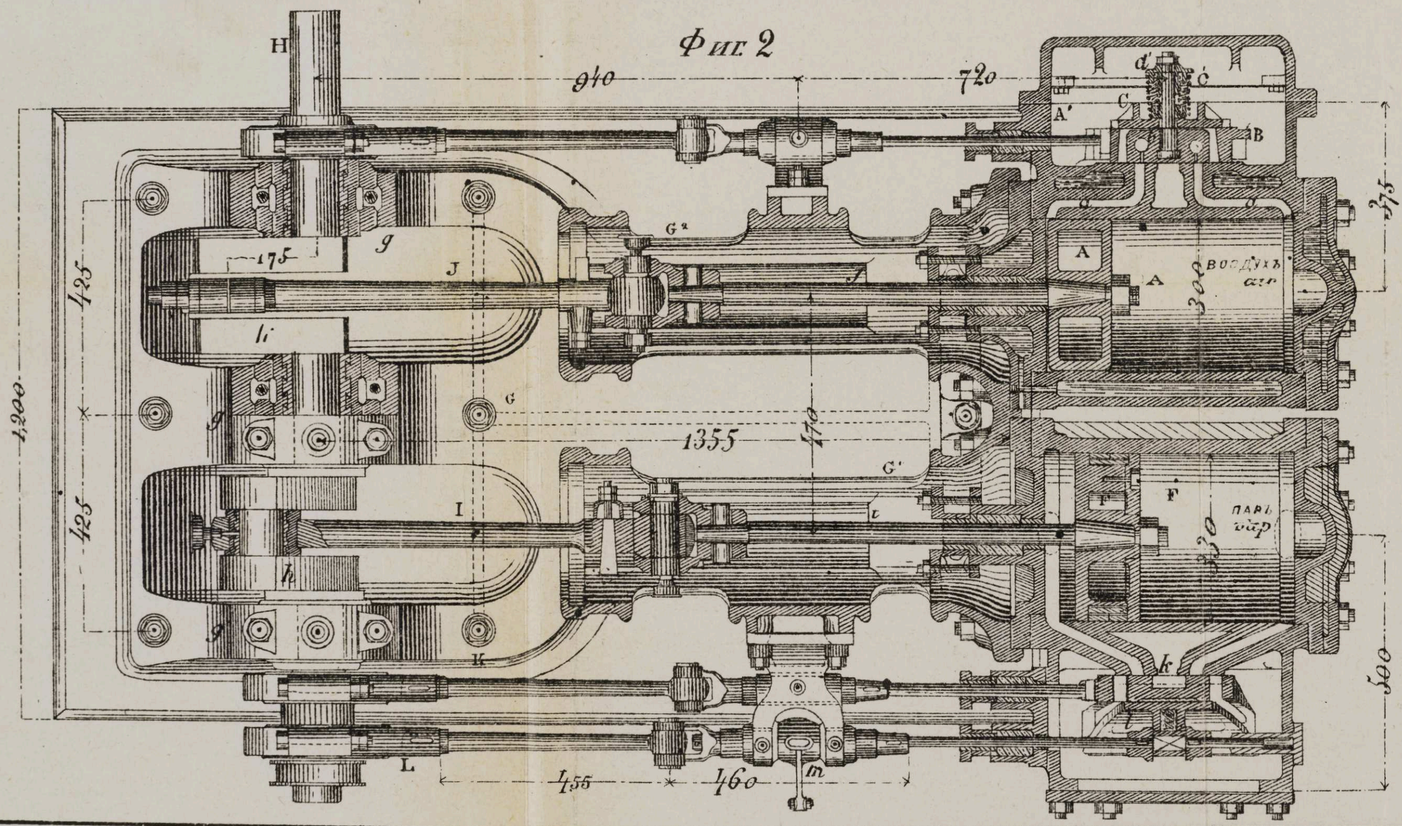


Фиг. 3

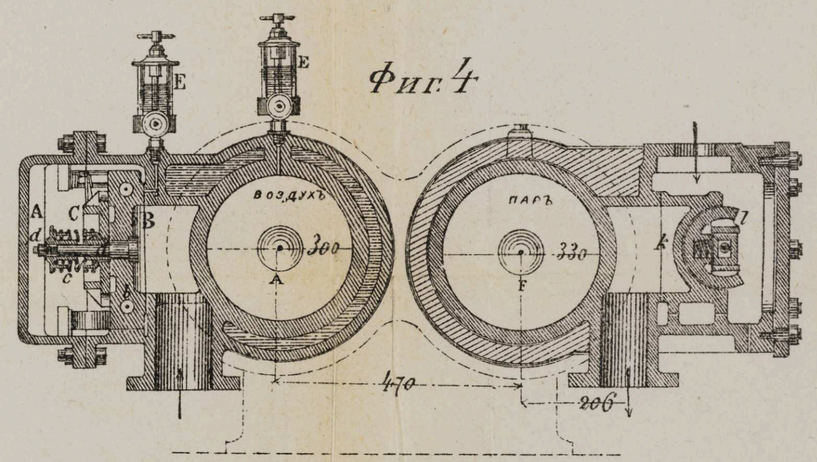


Воздушный компрессаторъ по системѣ Буркгардта съ паровою машиною системы Ридера.

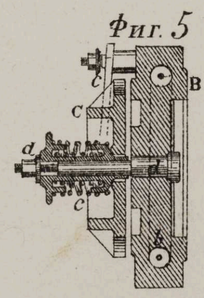
Фиг. 2



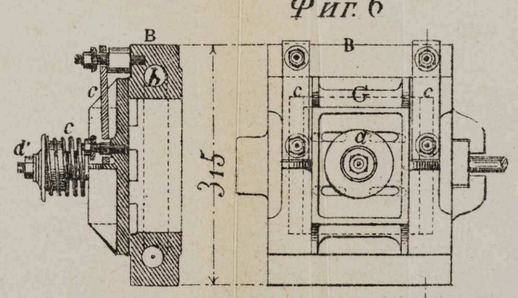
Фиг. 4



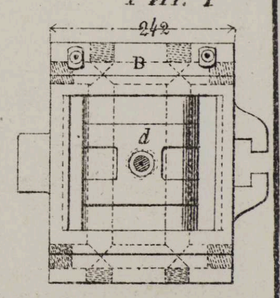
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 1.

Фиг. 3.

Фиг. 4.

Фиг. 5.

Фиг. 6.

Фиг. 7.

Фиг. 2.

Діаметръ маховика 4.2 м.

Паровая машина системы Вульфа (тандемъ) съ распредѣлен. Зульцера

масштабъ къ фиг. 1-3

масштабъ къ фиг. 4-7