УИЛЬЯМА ДЖОНА МЕКУОРНА РЕНКИНА

1 670. Проверено 1935

РУКОВОДСТВО

ПРОВЕРЕНО 1952

ДЛЯ

ИНЖЕНЕРОВЪ-СТРОИТЕЛЕЙ.

ПЕРЕВЕЛЪ СЪ АНГЛІЙСКАГО

ИНЖЕНЕРЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ

ПЕТРЪ АНДРЕЕВЪ.

БИБЛІОТЕКА ИМПЕРАТОРСКАГО Московскаго ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

САНКТПЕТЕРБУРГЪ

1870.

ПРОВЕРЕНО 1945

Прочитано
сент. г

810

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 23 Февраля 1869 года.

ВЪ ТИПОГРАФІИ РОГЕНФЕЛЬДЕНА И КОМП.
(Вас. Остр., 3 л., д. № 44).

ГЛАВНѢЙШІЯ ОПЕЧАТКИ.

Стран.	Стрк.	Напечатано:	Должно быть:
7	5 н.	1 сотая	2 сотыя
44	9 н.	c	b
50	6 н.	Sin ½ E	Sin ½ C
77	17 н.	Часовое измѣненіе склоненія солнца.	Измѣненіе склоненія солнца въ продолженіи наблюденія.
160	16 в.	1628	16.28
163	11 в.	ECF	ECF вѣсомъ W_1
167	6 в.	$y_0 = {}^1/_2\ r$	$y_0 = {}^1/_3\ r$
177	1 в.	$\frac{S}{\cos\Theta}$	$\frac{S}{p\cos\Theta}$
186	22 в.	сухому металлу.	сухому ильму.
224	8 н.	P = = cPcprcpr	P = pr cP = cpr
225	10 в.	$\frac{p}{\cos j}$	$\frac{p}{c.\cos j}$
230	2 в.	D	E
236	3 в.	mcosi	m-cosi
	7 н.	P_1 cotg i_1	rP_1 cotg i_1
239	1 н.	объемѣ	объемѣ или
257	8 н.	914 39	913.8
290	10 в.	толщинамъ обратно пропорціонально ихъ.	обратно пропорціонально ихъ толщинамъ.
294	7 н.	m'	n''
	4 н.	nn	mn''
	3 н.	$2nn''$	$2mn''$
296	5 н.	$p' =$	$f' =$
306	9 н.	$\frac{n'}{m''} - {}^1/_2$	$\frac{n''}{m''} - {}^1/_2$
	1 н.	$\frac{n''}{m''} = {}^1/_2$	$\frac{n''}{m''} - {}^1/_2$
307	15 в.	одинакую длину	одинакіе радіусъ и длину.
312	10 н.	$-M_0 > M_0$	$-M_1 > M_0$
314	9 н.	Hcosi	— Hcosi
319	4 в.	двигающей	сдвигающей
321	12 в.	$u_1 = 0$	$u_1 = 0$ или данной величинѣ.
325	1 в.	$\frac{4k}{l^2} - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2$	$\frac{4k}{l^2}\left(\frac{l}{2} - x\right)^2$

Стран.	Стрк.	Напечатано:	Должно быть:
325	2 н.	$\frac{x^2}{2} =$	$\frac{x^2}{2} -$
327	3 в.	$- 3r^4$	$+ 3r^4$
	7 в.	$\frac{M_1}{9h}$	$\frac{M_1}{qh}$
	2 н.	$\frac{w_0}{8+B}$	$\frac{w_0}{1+B}$
	1 н.	r^1_4	r^4_1
331	9 н.	$\frac{8kH}{l^2}$	$\frac{4kH}{l^2}$
336	15 в.	4.893	4.581
	23 в.	5.406	4.806
337	9 в.	2.2989	2.2893
340	11 н.	460	480
345	11 в.	1553.84 | 4.49	1660.12 | 4.84
347	13 в.	ст. V	ст. III
351	2 в.	по линіи	къ линіи
358	20 в.	дѣвительстно	дѣйствительно.
366	18 в.	189	190
418	8 в.	борозды	гребешки
397	13 н.	0.0035	0.00035
424	15 в.	28.25	28.58
	16 в.	31.73	31.76
	17 в.	31.73 73.63	31.76 76.22
430	9 н.	7.36	7.62
437	5 в.	AORW	APRW
456	12 н.	$\frac{\alpha^3}{\beta^3}$	$\frac{a^3}{b^3}$
470	18 в.	въ плечахъ	въ пятахъ
514	3 в.	разстоянія	разстоянія $OW = z_0$
526	5 в.	$\int_{x_1}^{x}$	$\int_{x_0}^{x}$
556	16 в.	фигурное	полосовое
568	10 в.	$1 - \frac{\mathrm{Sin}2\Theta}{2\Theta}$	$1 - \frac{\mathrm{Sin}2\Theta}{2\Theta}$
589	18 н.	чер 252	чер. 253
597	10 н.	$\frac{1}{Nk}$	$\frac{1}{Nk}$
599	6 в.	165.470	115.470
	11 н.	TS	T+S
620	11 в.	въ наружу, а не внутрь.	впередъ, а не назадъ.
627	10 н.	$W - S^2B$	$W - S_2B$
633	6 в.	§ 297	§ 298

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Руководство это раздѣлено на три части. Первая содержитъ описаніе тѣхъ дѣйствій инженера, которыя основаны на однихъ геометрическихъ началахъ: съемки, нивелированія и разбивки линій на землѣ, и которыя составляютъ *Инженерную Геодезію.* Во второй части описаны свойства строительныхъ *Матеріаловъ:* земли, камня, дерева и металовъ; а также способы возводить изъ нихъ разныя *Строенія:* выемки, насыпи, стѣны, мосты и пр. Въ третьей части, названной *Сооруженія*, излагаются начала, на основаніи которыхъ описанныя во второй части строенія соединяются въ сложныя сооруженія: дороги, водопроводы, каналы, гавани, улучшенія рѣкъ и пр.

Первая глава второй части, *Законы устойчивости и крѣпкости*, не есть трактатъ объ этомъ предметѣ, а сводъ правилъ и формулъ механики, на которыя дѣлаются ссылки въ другихъ главахъ, заключающихъ только самыя необходимыя математическія исчисленія.

Таблицы крѣпкости матеріаловъ при этой главѣ содержатъ только крайнія и среднія числа, большія же по-

дробности объ этомъ ихъ свойствѣ находятся въ описаніи матеріаловъ.

Главный предметъ третьей части есть указаніе частныхъ правилъ, которыми должно руководствоваться при проектированіи разнаго рода сооруженій: относительно же подробностей начертанія и исполненія дѣлаются указанія на предшествующія части.

ОТЪ ПЕРЕВОДЧИКА.

Въ предлагаемомъ переводѣ сочиненія г. Ренкина нѣкоторые техническіе термины переданы мною не тѣми словами, которыя часто употребляются, а другими, которыя по моему мнѣнію лучше выражаютъ представляемыя ими понятія или болѣе согласны съ тѣмъ смысломъ, который авторъ имъ придаетъ. Такъ свойство матеріаловъ выдерживать, не разрушаясь, до нѣкоторой степени дѣйствіе внѣшнихъ силъ я назвалъ *крѣпкостью*, согласно англійскому *strength* и нѣмецкому *festigkeit*, а не *сопротивленіемъ*, которое есть переводъ французскаго слова *résistance*. Сопротивленіе, оказываемое веществомъ дѣйствующей на него силѣ всегда равно этой силѣ и независимо отъ рода вещества, между тѣмъ какъ strength или festigkeit зависитъ не отъ силы, а отъ рода вещества и есть такое же его свойство, какъ вѣсъ, твердость, жесткость, скважность и т. п. Вода и воздухъ оказываютъ сопротивленіе производимымъ на нихъ давленіямъ, но не обладаютъ крѣпкостью: нашъ языкъ на столько богатъ, что мы можемъ избѣгать анонимовъ или употребленія однихъ и тѣхъ же словъ для выраженія разныхъ

понятій; въ немъ также есть довольно матеріала для составленія новыхъ словъ, если это оказывается нужнымъ. Измѣненіе формы и объема тѣлъ при дѣйствіи на нихъ силъ я назвалъ *искаженіе*, потому что это короче; уголъ тренія авторъ называетъ *angle of repose*, а перевелъ это *уголъ покоя*.

Англійскій текстъ дополненъ указаніемъ на нѣкоторыя русскія сооруженія, также описаніемъ постройки основаній Кельскаго моста черезъ Рейнъ и водолазнаго снаряда Рукейроля, которые сдѣлались извѣстны послѣ выхода въ свѣтъ сочиненія Г. Ренкина.

Первыя сорокъ листовъ этого перевода печатаны были въ Лейпцигской типографіи Бера и Германа, которая сгорѣла въ 1866 году; только осенью 1868 года я былъ увѣдомленъ о гибели при этомъ несчастіи моей рукописи и могъ приступить къ переводу вновь окончанія книги и печатанію его въ С.-Петербургѣ; этимъ объясняется поздній выходъ третьяго и послѣдняго выпуска.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗІЯ.

Глава I. Общія понятія.

§		Стр.
1.	Съемка, нивелированіе, разбивка	1
2.	Планъ и прорѣзъ	1
3.	Поверхность уровня	2
4.	Мѣры длины	3
5.	Мѣры поверхностей	4
6.	Мѣры объемовъ	5
7.	Масштабъ плана	5
8.	Масштабъ прорѣзовъ	7
9.	Способы съемки	8
10.	Употребленіе тригонометріи.	9
11.	Изысканія.	9
12.	Порядокъ дѣйствій подробной съемки	12
13.	Разстоянія, высоты и надписи на планахъ	14
14.	Разстоянія, высоты, основной пунктъ и надписи на прорѣзахъ	14
15.	Повѣрительныя точки нивелированія	15
16.	Повѣрительная нивелировка	15
17.	Изслѣдованіе грунта и стоимость сооруженій	16
18.	Ось дороги есть основаніе оцѣночной съемки	16
19.	Поврежденія	16
20.	Содержаніе послѣдующихъ главъ	16

Глава II. Съемка цѣпью.

21.	Знаки и сигналы	17
22.	Мѣрная цѣпь	18
23.	Измѣреніе по уклону, приведеніе къ уровню	21
24.	Перпендикуляры или ординаты	21
25.	Наклонныя ординаты	24
26.	Треугольники	25
27.	Препятствія на основной линіи	25
28	Полевой журналъ	30
29.	Нанесеніе на бумагу	31
30	Нанесеніе треугольниковъ	32
31.	Нанесеніе перпендикуляровъ, разстояній и подробностей	32
32.	Опредѣленіе площадей	33

Глава III. Съемка угломѣрными инструментами.

33.	Тригонометрическія формулы	37
34.	Теодолитъ	54
35.	Установка и вывѣрка теодолита	60
36.	Измѣреніе горизонтальныхъ угловъ	64
37.	Отражательные инструменты	67
38.	Употребленіе секстанта при съемкахъ	69
39.	Употребленіе бусоли при съемкахъ	70
40.	Тригонометрическая съемка	72
41.	Большая продольная съемка	75
42.	Время, меридіанъ, широта,	

§		Стр
	долгота	76
43.	Нанесеніе на бумагу. . .	80
44.	Проходная съемка малыхъ участковъ	81
45.	Нанесеніе посредствомъ координатъ	82
46.	Мензула	83

Глава IV. Нивелированіе.

47.	Назначеніе линіи прорѣза .	86
48.	Уровень съ воздушнымъ пузырькомъ	86
49.	Рейка	89
50.	Установка и вывѣрка нивелира , ...	89
51.	Употребленіе нивелира . .	91
52.	Вычисленіе высотъ . . .	93
53.	Составленіе продольнаго прорѣза	95
54.	Поперечные прорѣзы . .	96
55.	Употребленіе теодолита для нивелированія.	96
56	Высотомѣръ Шези . . .	98
57.	Водяной уровень	98
58.	Сферичность земли . . .	98
59.	Барометрическое опредѣленіе высотъ	100
60.	Изгибы поверхности земли .	101
61.	Горизонтали	103

Глава V. Разбивка линій на землѣ.

62.	Провѣшиваніе прямыхъ линій	106
63.	Разбивка кривой линіи . .	108
64.	Нарѣзка оси сооруженія .	115
65.	Постоянные знаки оси . .	115
66.	Исполнительные прорѣзы и книга высотъ.	116
67.	Назначеніе ширины полосы земли	118
68.	Постоянные знаки сооруженій	118
69.	Назначеніе высоты насыпей	118
70.	Назначеніе и разбивка тонеля	119

Глава VI. Морская съемка для строительныхъ работъ.

71	Сигналы на сушѣ и на водѣ	122
72.	Постоянная точка для высотъ	122
73.	Футштокъ	123
74	Опредѣленіе точекъ на морѣ	124
75.	Промѣры глубины . . .	127
76.	Вычисленіе глубины . . .	129
77.	Линіи равной глубины . .	129
78.	Теченія, волны	130
79.	Разныя свѣдѣнія	130
80.	Опредѣленіе высотъ секстантомъ. Пониженіе горизонта	130

Глава VII. Перечерчиваніе, увеличеніе и уменьшеніе плановъ.

81.	Прорисовка плана , . .	132
82.	Гравированіе, литографированіе и печатаніе плановъ .	132
83.	Уменьшеніе отъ руки . .	133
84.	Уменьшеніе механическое .	133
85.	Увеличеніе плановъ . . .	135
86.	Уменьшеніе фотографическое	135
	Астрономическая таблица .	136

ВТОРАЯ ЧАСТЬ. МАТЕРІАЛЫ И СТРОЕНІЯ.

Глава I. Законы устойчивости и крѣпкости.

Отдѣлъ 1. О строеніяхъ вообще.

87.	Строеніе, матеріалы, части строеній	137
88.	Условія равновѣсія строеній	138

§		Стр.
89.	Устойчивость, крѣпкость, жесткость	139
	Отдѣлъ II. Законы равновѣсія силъ.	
90	Сила. Равновѣсіе	140
91.	Единицы вѣса	141
92	Равнодѣйствующая нѣсколькихъ силъ, направленныхъ по одной линіи	142
93.	Равнодѣйствующая наклонныхъ силъ	142
94.	Разложеніе силъ	144
95.	Равнодѣйствующая нѣсколькихъ силъ, приложенныхъ къ одной точкѣ	146
96	Пары силъ, ихъ равнодѣйствующія	147
97.	Равнодѣйствующія и равновѣсіе параллельныхъ, силъ .	148
98.	Центръ параллельныхъ силъ	152
99.	Равновѣсіе и равнодѣйствующая системы силъ, находящихся въ одной плоскости	154
100.	Равновѣсіе и равнодѣйствующая всякой системы силъ	155
101.	Преобразованія въ статикѣ. Паралельныя проложенія. .	157
	Отдѣлъ III. Распредѣленныя силы.	
102.	Разпредѣленныя силы вообще	159
103.	Вѣсъ. Относительный вѣсъ	160
104.	Центръ тяжести	160
105.	Примѣры опредѣленія вѣса и центра тяжести . . .	164
106.	Напряженіе, его величина, равнодѣйствующая и моментъ	170
107.	Давленіе и равновѣсіе жидкостей. Законы гидростатики	173
108.	Сложныя внутреннія напряженія въ твердыхъ тѣлахъ .	176
109.	Параллельныя проложенія разпредѣленныхъ силъ . .	184
110.	Треніе	185
	Отдѣлъ IV. Равновѣсіе и устойчивость фермъ, цѣпей и дугъ.	
111.	Ферма	186
112.	Отдѣльный брусъ . . .	187
113.	Разпредѣленные грузы . .	189
114.	Ферма изъ двухъ брусьевъ	190
115.	Триугольныя фермы . . .	191
116.	Многоугольная ферма . .	193
117.	Открытая многоугольная ферма	194
118.	Устойчивость многоугольныхъ фермъ	195
119	Раскошенныя фермы . .	196
120.	Шпренгель	198
121.	Второстепенные и сложные шпренгели	199
122.	Сопротивленіе фермы . .	200
123.	Равновѣсіе цѣпи или веревки	201
124.	Приблизительное начертаніе кривой равновѣсія . .	203
125.	Цѣпь, нагруженная равномѣрно	204
126.	Висячіе мосты съ наклонными прутьями	208
127	Прогибъ струны	211
128.	Цѣпная линія	212
129.	Центръ тяжести гибкаго строенія	215
130	Преобразованіе фермъ и цѣпей	215
131.	Преобразованныя цѣпныя линіи	217
132.	Линейныя арки Ихъ преобразованіе	219
133.	Круговая дуга при жидкомъ давленіи	220
134.	Элиптическая дуга при равномѣрномъ давленіи . . .	221
135.	Скошенная элиптическая дуга	223
136.	Арки при нормальныхъ давленіяхъ. Гидростатическая арка	226
137.	Преобразованная гидростатическая или геостатическая арка	230

§		Стр.
138	Линейная арка какой нибудь формы	231
139	Стрѣльчатая арка	237
140	Устойчивость штукь	237
141.	Преобразованіе штучнаго строенія	239
	Отдѣлъ V. Крѣпкость матеріаловъ.	
142.	Искаженіе, напряженіе, крѣпкость, нагрузка	239
143	Коефиценты благонадежности	241
144.	Опыты надъ крѣпкостью	242
145.	Коефиценты крѣпкости	243
146	Жесткость, гибкость, ихъ коефиценты	243
147.	Упругость	244
148.	Отпоръ	245
149.	Сопротивленіе брусьевъ вытягиванію и разрыву	246
150.	Цилиндрическіе котлы и трубки	247
151.	Сферическія чашки	247
152.	Цилиндры съ толстыми стѣнами	248
153.	Шаръ пустой внутри	248
154.	Боковая гибкость, кубическая сжимаемость	248
155.	Высота коефицента	250
156.	Сопротивленіе сдвиганію и скошиванію	250
157.	Сопротивленіе сжиманію и раздробленію	252
158.	Раздробленіе посредствомъ поперечнаго перелома	255
159.	Сопротивленіе трубъ сдавливанію	258
160.	Дѣйствіе поперечнаго груза на балку	259
161.	Примѣры дѣйствія груза на балку	264
162.	Сопротивленіе перелому. Поперечная крѣпкость	268
163.	Примѣры моментовъ сопротивленія	273
164.	Поперечныя сѣченія равной крѣпкости	276
165.	Продольныя сѣченія равной крѣпкости	279
166.	Коефицентъ перелома чугунныхъ балокъ	280
167.	Собственный вѣсъ балки. Предѣлъ длины	281
168.	Распредѣленіе сдвигающаго напряженія въ балкѣ	286
169	Прогибъ балокъ	288
170.	Отношеніе высоты балки къ длинѣ	296
171.	Общій ходъ проектированія балки	298
172.	Внезапная нагрузка. Быстродвижущійся грузъ	299
173.	Отпоръ балки	300
174.	Дѣйствіе крученія на брусъ	301
175	Разширеніе и сжатіе отъ температуры	302
176.	Балка укрѣпленная обоими концами	303
177	Балка укрѣпленная однимъ концомъ и поддержанная на другомъ	308
178.	Балки несовершенно укрѣпленныя. Непрерывныя ребра	308
179	Стропильная нога или наклонная балка	313
180.	Крѣпкость и жесткость арки при отвѣсной нагрузкѣ	317
	Относительный вѣсъ и вѣскость разныхъ веществъ	335
	Таблицы крѣпкости матеріаловъ.	338

Глава II. Земляныя работы.

	Отдѣлъ I. Крѣпкость и устойчивость земляныхъ работъ.	
181.	Общія начала. Липкость. Треніе. Естественный откосъ. Вѣскость земель	342
182.	Откосы выемокъ въ скалахъ	345
183.	Теорія давленія и устойчивости рыхлой земли	346

Стр.

Отдѣлъ II. Изчисленіе земляныхъ работъ.

184. Изчисленіе полуширины и площади земель 352
185. Поперечныя площади земляныхъ работъ 355
186. Объемы земляныхъ работъ 356

Отдѣлъ III. Производство земляныхъ работъ.

187. Развѣдка грунта . . . 358
188. Уравненіе земляныхъ объемовъ 360
189. Временная изгородь . . 360
190. Отводная канава . . . 361
191. Растительная земля и дернъ 361
192. Производство выемокъ . . 361
193. Осушеніе полотна и откосовъ 362
194. Уроки земляной работы . 362

§ Стр.

195. Бермы 366
196. Предъупрежденіе спалзываній 366
197. Осадка насыпей . . . 367
198. Разпредѣленіе земляной работы 367
199. Возведеніе насыпей . . 367
200. Насыпи на косогорахъ . 368
201. Насыпи поверхъ и за каменной кладкой 369
202. Осушеніе насыпей . . . 369
203. Насыпи на низменныхъ мѣстахъ 370
204. Насыпи на слабомъ грунтѣ 370
205. Планировка и отдѣлка откосовъ 372
206. Глиняная смазка . . . 372
207. Выломка камней, взрываніе ихъ порохомъ . . . 372
Вѣскость камней . . . 376

Глава III. Каменныя строенія.

Отдѣлъ I. Естественные камни.

208. Внутреннее сложеніе камней 377
209. Химическій составъ камней 380
210. Преобладающіе минералы въ камняхъ 382
211. Раздѣленіе камней . . . 384
212. Кремнистые камни . . . 384
213. Глинистые камни . . . 388
214. Известковые камни . . 389
215. Крѣпкость камней . . . 390
216. Испытаніе прочности камней 391
217. Предохраненіе камней . . 392
218. Разширеніе камней отъ тепла 393

Отдѣлъ II. Искусственные камни.

219. Глина для кирпича . . . 393
220. Приготовленіе кирпича. Его достоинства 395
221. Прессовой кирпичъ . . 397
222. Другіе искусственные камни 397

Отдѣлъ III. Сльпляющіе матеріалы.

223. Химическій составъ известняковъ 397
224. Чистая или жирная известь 400
225. Гидравлическія извести . . 401
226. Естественный цементъ . . 402
227. Искусственный цементъ . 403
228. Пуцоланы или цемянки . 403
229. Растворъ обыкновенный и гидравлическій . . . 403
230. Бетонъ 405
231. Цементъ 405
232. Крѣпкость раствора, цемента и бетона 406
233. Гипсъ или алебастръ . . 407
234. Смолистые цементы и бетоны 408

Отдѣлъ IV. Простые фундаменты.

235. Опредѣленіе и класификація фундаментовъ 408
236. Фундаменты на скалѣ . . 409
237. Теорія фундаментовъ на землѣ 411

§		Стр.
238.	Фундаменты на материкѣ	413
239.	Фундаменты на слабомъ грунтѣ	414
	Отдѣлъ V. Производство каменной кладки.	
240.	Общія правила	415
241.	Роды каменныхъ кладокъ	416
242	Тесовая кладка изъ крупныхъ камней	417
243.	Мелкая тесовая кладка	419
244	Бутовая кладка рядами	419
245.	Обыкновенная бутовая кладка	421
246	Тесовая кладка съ забуткой	421
247.	Прокладки и карнизы	421
248.	Замазка швовъ	423
249.	Сухая каменная кладка.	423
250.	Уроки каменныхъ работъ	423
251.	Перемѣщеніе камней	424
252.	Инструменты употребляемые при постройкахъ.	426
253.	Обмѣръ каменной работы.	427
	Отдѣлъ VI. Кирпичная кладка.	
254.	Общія правила	427
255.	Перевязка швовъ въ кирпичной кладкѣ.	428
256.	Желѣзныя связи.	430
257.	Замазка швовъ	439
258.	Нижніе ряды кирпичной кладки.	430
259.	Прокладки и карнизы	430
260.	Углы изъ тесанаго камня.	430
261.	Уроки кирпичной кладки	430
262.	Обмѣръ кирпичной кладки.	430
	Отдѣлъ VII. Опорныя и поддерживающія стѣны.	
263.	Устойчивость каменной и кирпичной кладки	431
264.	Устойчивость опорной стѣны съ отвѣсными гранями и горизонтальными рядами.	434
265.	Устойчивость поддерживающихъ стѣнъ	436
266.	Устойчивость прямоугольныхъ стѣнъ	440
267.	Устойчивость поддерживающей стѣны съ наклонною гранью	441
268.	Устойчивость наклонныхъ поддерживающихъ стѣнъ одинакой толщины	442
269.	Контрфорсы	443
270.	Стѣна поддерживающая насыпь	444
271.	Постройка поддерживающихъ стѣнъ	444
272.	Связь съ грунтомъ	446
273.	Упоры поддерживающихъ стѣнъ	447
274.	Примкнутые своды	447
275.	Лежачіе опорные своды	448
	Отдѣлъ VIII. Каменные и кирпичные своды.	
276.	Главныя части каменнаго свода	448
277.	Кладка сводовъ. Забутка	449
278.	Кирпичные своды	450
279.	Кружала	451
280.	Линія давленія въ сводѣ	452
281.	Отношеніе линейной арки къ внутренней поверхности свода	453
282.	Употребленіе уравновѣшенныхъ или преобразованныхъ цѣпныхъ линій	454
283.	Употребленіе гидростатической арки.	455
284.	Употребленіе геостатической арки	457
285.	Устойчивость сводовъ	457
286	Дуга круга не меньшая четверти окружности	459
287.	Устойчивость не нагруженнаго свода	461
288.	Дуга круга меньшая четверти окружности	462
289.	Поперечныя надсводныя стѣнки	462
290.	Толщина свода въ ключѣ	465
291.	Устои расходящимися рядами	465
292.	Отвѣсные устои	466
293.	Быки сводовъ	466
294.	Цѣпи въ сводахъ, устояхъ и	

§		Стр.
	быкахъ	466
295.	Косые своды.	466
296.	Косые своды съ поясами .	469
297.	Крѣпкость каменныхъ и кирпичныхъ сводовъ . .	470
298.	Подземные своды, тонели и трубы	471
	Координаты и уклонъ цѣпной линіи.	473

Глава IV. Деревянныя строенія.

Отдѣлъ 1. Лѣсной матеріалъ.

299.	Строеніе дерева	475
300.	Раздѣленіе строеваго лѣса на хвойный и лиственный.	478
301.	Признаки хорошаго лѣса .	479
302.	Хвойныя деревья . . .	480
303. 306.	Лиственныя деревья. . .	481 482
307.	Вліяніе почвы и климата на лѣсъ	483
308.	Время свалки дерева . .	484
309.	Сушка лѣсу	484
310	Прочность и порча дерева.	486
311.	Сохраненіе дерева . . .	486
312.	Крѣпкость дерева . . .	487

Отдѣлъ II Вязки дерева и скрѣпы.

313.	Класификація и общія правила	489
314.	Сращиваніе струнъ . . .	490
315.	Наращиваніе подпоръ . .	492
316.	Удлиненіе балокъ . . .	492
317.	Вязка балокъ въ крестъ .	492
318.	Вязка балокъ шипомъ . .	492
319.	Вязка балокъ съ подпорами	493
320.	Вязка подпорокъ со струнами	494
321.	Бабка	495
322.	Нагели	496
323	Гвозди	496
324.	Винты	497
325.	Болты. Подгаешники . .	498
326.	Желѣзныя скобы . . .	498
327.	Хомуты	499
328.	Желѣзныя полосы . . .	499
329.	Желѣзные башмаки . .	499
330	Предохраненіе желѣза отъ ржавчины.	499

Отдѣлъ III. Составныя балки и дуги.

331.	Составныя балки . . .	500
332.	Кривые брусья	501
333	Составныя дуги	501
334.	Досчатая дуга	502

Отдѣлъ IV. Деревянныя фермы и шпренгели.

335	Общія замѣчанія объ равновѣсіи, устойчивости и крѣпкости деревянныхъ фермъ.	502
336.	Досчатыя настилки. . .	503
337.	Крыши, кровли . . .	505
338.	Обрѣшотка и стропильныя ноги	506
339.	Стропила.	507
340.	Крѣпкость струны—балки, балки—распорки и кривой распорки	512
341.	Шпренгельныя фермы мостовъ	513
342.	Сложныя шпренгельныя фермы.	516
343	Многораскосныя фермы. .	517
344.	Рѣшотчатыя фермы . . .	519
345.	Деревянныя арки . . .	519
346.	Деревянные наддужники .	520
347.	Деревянныя стянутыя дуги.	522
348.	Деревянные устои . . .	522
349.	Кружала	524

Глава V. Металическія строенія.

Отдѣлъ I. Чугунъ, желѣзо и сталь.

350.	Желѣзныя руды и роды желѣза.	533
351.	Примѣси въ желѣзѣ. . .	536
352.	Чугунъ	537

§		Стр.
353.	Крѣпкость чугуна . . .	539
354.	Чугунныя части строеній .	542
355.	Желѣзо	543
356	Сталь и сталеватое желѣзо	547
357.	Крѣпкость желѣза и стали	550
358.	Отпоръ желѣза и чугуна .	551
359	Порча желѣва и чугуна и ихъ предохраненіе . . .	552
	Отдѣлъ II. Желѣзныя скрѣпы.	
360.	Заклепки	553
361.	Гвозди и клинья. . . . ,	554
362.	Болты и винты	554
	Отдѣлъ III. Желѣзныя струны, подпоры и балки.	
363.	Формы желѣзныхъ брусьевъ	555
364.	Желѣзныя струны . . .	556
365	Чугунныя подпорки и распорки	558
366.	Желѣзные столбы и распорки	560
367.	Чугунныя балки. . . .	563
368.	Составныя чугунныя балки	564
369.	Сплошныя желѣзныя балки	565
370	Балки изъ котельнаго желѣза и трубчатыя . .	566
371.	Большія трубчатыя фермы	571
372.	Устройство трубчатыхъ фермъ. Непрерывныя ребра	574
373.	Дѣйствіе вѣтра на трубчатые мосты . . . . :	577
374	Дуговыя фермы	578
	Отдѣлъ IV. Желѣзныя настилки, стропила и мосты.	
375.	Желѣзныя настилки. . .	582
376.	Желѣзныя крыши . . .	586
377.	Желѣзныя шпренгели . .	588
378.	Желѣзныя раскосныя фермы	602
379.	Стянутыя дуги	604
380.	Арочные желѣзные мосты .	607
381.	Чугунные и желѣзные устои	612
382.	Висячіе мосты	616
383.	Отношеніе вѣса къ нагрузкѣ въ желѣзныхъ мостахъ.	627
	Отдѣлъ V. Разные металы и сплавы.	
384	Свинецъ	628
385.	Цинкъ.	629
386.	Олово, сплавы олова . .	629
387.	Мѣдь	629
388	Бронза	630
389.	Латунь или желтая мѣдь .	630

Глава VI. Подземныя и подводныя строенія.

	Отдѣлъ I. Тонели.	
390.	Тонели	632
391.	Колодцы	633
392.	Галлереи	638
393.	Тонель въ сухой и твердой скалѣ.	640
394.	Тонель въ сухой растрескавшейся скалѣ . . .	641
395.	Тонель въ мягкомъ грунтѣ	641
396.	Фронтъ тонеля, дренажъ .	644
397.	Тонель въ плывучемъ грунтѣ	645
	Отдѣлъ II. Деревянныя, желѣзныя и подводныя основанія	
398.	Общія начала. Подводныя основанія.	646
399.	Основанія на деревяныхъ ростверкахъ	647
400.	Основанія на металическихъ ростверкахъ	647
401.	Сваи частокомъ	648
402.	Поддерживающія сваи . .	648
403.	Винтовыя сваи	651
404.	Шпунтовыя сваи . . .	652
405.	Бетонныя основанія. . .	653
406,	Трубчатыя основанія . .	654
407.	Основанія на погружаемыхъ колодцахъ	659
408.	Ящики съ дномъ . . .	659
409.	Перемычки	660
410.	Выемка земли и порохострѣльная работа подъ водою	663
411.	Водолазные снаряды. . .	665
412.	Производство насыпей и строеній подъ водою . .	667

ТРЕТЬЯ ЧАСТЬ. СООРУЖЕНІЯ.

Глава I. Дороги.

§ Стр.

Отдѣлъ I. Общія понятія.

413. Составъ дороги 669
414. Начертаніе линіи дороги и продольный ея прорѣзъ. . 671
415. Нормальный уклонъ. . . 673

Отдѣлъ II. Обыкновенныя дороги.

416. Сопротивленіе движенію и нормальный уклонъ . . . 674
417. Начертаніе и устройство полотна 676
418. Ширина и поперечный прорѣзъ 676
419. Осушеніе дороги и огражденіе ея. 677
420. Шоссе 678
421. Мостовыя 680
422. Тротуары. 681
423. Асфальтовая мостовая . . 682
424. Бревенчатыя мостовыя . . 683
425. Торцовыя мостовыя. . . 683

Отдѣлъ III. Колейныя дороги.

426. Каменныя колеи. . . . 684
427. Чугунныя колеи 684

Отдѣлъ IV. Желѣзныя дороги.

428. Сопротивленіе движенію . 684
429. Отношеніе валоваго груза къ чистому 687
430. Движущая сила 687
431. Нормальный уклонъ желѣзныхъ дорогъ 693
432. Дѣйствіе тормозовъ. . . 696
433 Работа паровоза . . . 697
434. Закругленія 701
435 Общія правила начертанія желѣзныхъ дорогъ . . . 709
436. Переѣздъ чрезъ другіе пути и ихъ измѣненіе. . . 712
437 Балластъ 715
438. Шпалы 716
439. Рельсы и подушки . . . 718
440. Рельсы на переѣздахъ въ уровнѣ 722
441. Соединеніе и развѣтвленіе желѣзныхъ путей, подвижныя тележки, поворотные круги 723
442. Станціи, столбы, телеграфы 725

Глава II. Собираніе, проведеніе и разпредѣленіе водъ.

Отдѣлъ I. Теорія движенія воды или гидравлика.

443. Давленіе воды, высота давленія 727
444. Расходъ воды и средняя скорость 728
445. Наибольшая и наименьшая скорость 729
446. Законы правильнаго теченія 729
447. Треніе воды 733
448 Сжатіе струи въ отверстіи. Коефиценты расхода. . . 736
449. Расходъ воды сквозь отвѣсныя отверстія, водосливы и водоспуски 739
450. Вычисленіе расхода воды въ трубахъ и ихъ діаметра 743
451. Расходъ воды въ каналахъ и ихъ размѣры 745
452. Подпоръ, производимый запрудою 747
453. Подпорный уклонъ . . . 748
454. Потокъ въ неправильномъ руслѣ 749
455. Время опораживанія водо-

§		Стр.
	вмѣстилища	750
	Отдѣлъ II. Измѣреніе количества воды.	
456.	Источники воды, дождь, полное и полезное количество воды.	752
457.	Измѣреніе расхода воды въ рѣкѣ	757
458.	Ординарный расходъ воды и паводки.	759
459	Измѣреніе расхода воды въ въ трубахъ	760
	Отдѣлъ III Водохранилища.	
460.	Цѣль устройства водохранилищъ и ихъ объемъ . .	761
461.	Мѣсто для водохранилища.	762
462.	Подтапливаемая земля . .	764
463.	Постройка запруды. . .	764
464.	Принадлежности водохранилища	767
465.	Стѣны водохранилища .	770
466.	Водохранилищныя озера. .	771
	Отдѣлъ IV. Естественныя и искусственныя русла.	
467.	Съемка и нивелированіе водяныхъ русъ	772
468.	Нормальное состояніе потока	774
469.	Укрѣпленіе береговъ рѣкъ.	772
470.	Улучшеніе рѣчныхъ русъ.	776
471.	Спрямленіе рѣчнаго русла.	778
472.	Запруды	778
473.	Мосты черезъ рѣки . . .	783
474.	Искусственныя водяныя русла, водопроводы . . .	785
475.	Соединеніе водяныхъ русъ	787
476.	Водопроводные мосты . .	787
477.	Водопроводныя трубы . .	787
478.	Укладка трубъ. Трубопроводные мосты	791
	Отдѣлъ V. Системы осушенія земель.	
479.	Общія правила осушенія земель.	792
480.	Вопросы относящіеся къ осушенію	792
481.	Вмѣстимость водоотводовъ.	793
482.	Водохранилищное дѣйствіе русъ и затопляемыхъ земель	794
483.	Плотины по берегамъ рѣкъ	795
484.	Приморскія низменности .	796
485.	Водоотливъ	797
486.	Осушеніе городовъ. . . .	797
487.	Водотоки	797
488.	Дренажныя трубы . . .	798
	Отдѣлъ VI. Водоснабженія.	
489.	Орошенія.	799
490.	Городское снабженіе. Количество сироса на воду . .	800
491.	Высота напора въ водопроводахъ, ...	801
492	Замѣнъ взятой воды у владѣльцевъ	802
493.	Устройство водохранилища.	803
494.	Ключи.	803
495	Водоснабженіе изъ рѣкъ Насосы	804
496.	Колодцы	806
497	Очищеніе воды	806
498.	Отстой воды и фильтрированіе	808
499.	Разпредѣлительные бассейны	809
500.	Разпредѣлительныя трубы .	810

Глава III. Внутреннее судоходство.

	Отдѣлъ I. Каналы.	
501.	Роды каналовъ. Выборъ направленія и возвышеніе	813
502.	Форма и размѣры канала.	814
503.	Постройка канала . . .	815
504.	Каналопроводы и постоянные мосты	816
505.	Подвижные мосты . . .	817
506.	Шлюзы въ каналахъ . .	819
507.	Наклонныя плоскости въ ка-	

§		Стр.
	налахъ.	821
508.	Снабженіе каналовъ водою.	824
	Отдѣлъ II Рѣчное судоходство.	
509.	Свободная рѣка	826
510.	Канализованная рѣка . .	827
511.	Подвижные мосты черезъ рѣки	827

Глава IV. Морскія сооруженія.

	Отдѣлъ I Волны и приливы.	
512.	Движеніе обыкновенныхъ волнъ	827
513.	Приливъ	832
514.	Приливы въ свободныхъ и глубокихъ руслахъ . .	832
515.	Приливъ въ короткомъ заливѣ	833
516.	Приливы въ длинныхъ заливахъ.	835
517.	Дѣйствіе приливовъ на берега и русла.	836
	Отдѣлъ II Защита морскихъ береговъ.	
518.	Буны	837
519.	Земляная дамба	837
520.	Каменные болверки. . .	837
521.	Волнорѣзъ или брекватеръ	840
522.	Приращеніе берега . . .	841
	Отдѣлъ III. Гавани и русла, подверженныя приливамъ.	
523.	Улучшеніе гаваней и руслъ	842
524.	Промывный басейнъ . .	843
525.	Каменныя набережныя . .	843
526.	Молы	844
527.	Гавани и доки	844
528.	Маяки.	845

БИБЛІОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКАГО
Московскаго
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ.

Инженерная Геодезія: Съемка, Нивелированіе и Разбивка.

ГЛАВА I.

ОБЩІЯ ПОНЯТІЯ.

1. Съемка, нивелированіе и разбивка суть главныя дѣйствія Инженерной Геодезіи: составить на бумагѣ изображеніе того участка земли, на которомъ предполагается произвести постройку, есть цѣль съемки и нивелированія, а назначить на этомъ участкѣ мѣсто для сооруженія есть предметъ разбивки.

Когда Инженеръ дѣлаетъ съемку мѣстности, то онъ имѣетъ цѣлью изобразить ее со всѣми находящимися на ней предметами въ проложеніи на поверхность уровня воды или горизонтальную плоскость; нивелируетъ же онъ мѣстность для того, чтобы опредѣлить и выразить возвышеніе разныхъ частей поверхности земли или изобразить ея изгибы.

2. Планъ и профѣзъ. Выраженныя чертежомъ на бумагѣ данныя, собранныя при производствѣ съемки, составляютъ *планъ* мѣстности; а по тѣмъ даннымъ, которыя получаются при нивелированіи, составляются отвѣсные *профѣзы* или просто профѣзы (профиля); есть впрочемъ и другіе способы изображать на бумагѣ изгибы поверхности земли, объ чемъ будетъ говорено въ послѣдствіи.

Планъ есть изображеніе въ маломъ видѣ мѣстности со всѣми находящимися на ней предметами и съ предполагаемымъ къ постройкѣ сооруженіемъ въ проложеніи на по-

верхность уровня, представляемую листомъ бумаги, на которой чертится планъ. Онъ отличается отъ карты главнѣйше величиною масштаба, который для плана такъ выбирается, чтобы можно было изобразить на бумагѣ предполагаемую постройку по крайней мѣрѣ въ главныхъ ея частяхъ, тогда какъ масштабъ карты бываетъ такъ мелокъ, что на ней можно указать только мѣсто, гдѣ будетъ находиться строеніе и то не очень опредѣленнымъ образомъ; карта служитъ для географическихъ и политико-экономическихъ соображеній объ мѣстѣ постройки, а планъ для строительныхъ или инженерныхъ соображеній о расположеніи и системѣ сооруженія.

Въ отвѣсномъ прорѣзѣ изображается форма линіи или черты, проведенной на поверхности земли, и видъ предполагаемаго по этой линіи сооруженія, а иногда почва и пласты земли, въ проложеніи на отвѣсную плоскость, представляемую тою бумагою, на которой чертятъ. На этой бумагѣ проводится прямая *основная линія*, представляющая поверхность уровня, которая находится на нѣкоторой условной высотѣ выше или ниже извѣстной постоянной точки поверхности земли, которую можно назвать *основной точкой*. Линіи, параллельныя основной, представляютъ въ маломъ видѣ горизонтальную длину, или длину по уровню разныхъ частей той линіи, которая проведена на поверхности земли и которую изображаютъ въ прорѣзѣ. Прямыя, перпендикулярныя къ основной линіи, представляютъ въ уменьшенной величинѣ возвышеніе или пониженіе относительно ея разныхъ частей той линіи, которая изображается на бумагѣ. Дѣйствительная поверхность земли и предполагаемаго сооруженія выражаются прямыми, ломанными или кривыми линіями, находящимся всегда въ соотвѣтственномъ отвѣсномъ разстояніи отъ основной линіи.

Въ одномъ и томъ же прорѣзѣ разстоянія по отвѣсу и по уровню могутъ быть въ разныхъ масштабахъ, когда обстоятельства того требуютъ.

3. Поверхность уровня во всѣхъ мѣстахъ перпендикулярна къ отвѣсной линіи, къ направленію силы тяжести или къ той линіи, по которой падаетъ свободное тѣло: такова поверхность стоячей воды. Эта поверхность имѣетъ форму нѣсколько сплюснутаго шара, сфероида или элипсоида вращенія, котораго размѣры по послѣднимъ изчисленіямъ Бесселя для средней поверхности океана суть: длина зем-

ной оси или разстояніе между полюсами 5,958,189 сажень, діаметръ экватора или наибольшее разширеніе земнаго сфероида 5,978,170 сажень, разность ихъ 19,981 сажень. Отношеніе этой разности къ діаметру экватора есть *сжатіе* земли, оно есть 1—299^{я} или проще 1—300^{я}.

Части земнаго сфероида, которыя представляются на планахъ для строительныхъ цѣлей, обыкновенно такъ малы въ сравненіи со всею поверхностію земнаго шара, что ихъ можно считать плоскими безъ малѣйшей ошибки, важной въ практическомъ отношеніи. Въ тѣхъ случаяхъ, когда нужно принять въ расчетъ кривизну поверхности земнаго сфероида, можно, не обращая вниманія на его элиптичность или сжатіе у полюсовъ, считать его шаромъ, котораго діаметръ одинаковъ съ среднимъ діаметромъ земнаго сфероида, т. е. 5,968,180 сажень или котораго радіусъ содержитъ 6000 верстъ безъ 32. Только при нѣкоторыхъ вычисленіяхъ эта кривизна земной поверхности берется въ расчетъ, на планахъ же плоскость бумаги, а въ прорѣзахъ прямая линія представляютъ поверхность уровня съ тою точностію, какой достаточно для строительнаю дѣла.

4. Мѣры длины. Въ Англіи за единицу длины принятъ *ярдъ* (yard); на металлическомъ брусѣ, который хранится въ Палатѣ Общинъ въ Уестминстерѣ, назначены двѣ черты, разстояніе между ними равно ярду при температурѣ 13$^1/_2{}^0$ Р. и при среднемъ давленіи атмосферы. Ярдъ дѣлится на *3 фута* или на 36 *дюймовъ*.

Въ Англіи употребляются и другія мѣры, какъ то: *фатомъ* (fathom) въ 2 ярда, *цѣпь* (chain) въ 22 ярда, путевая *миля* въ 1760 ярдовъ, морская *миля* въ 2,028.81 ярда.

Во Франціи былъ основною мѣрою Парижскій *футъ* (pied du roi), который содержалъ 12.78913 англійскихъ дюйма, 6 такихъ футъ составляли *туазъ* (toise). Теперь основная единица длины есть *метръ* (mètre), установленный въ 1795 году, это одна десятимилліонная доля четверти парижскаго меридіана; метръ равенъ 39.37079 англійскихъ дюймовъ, онъ дѣлится на 10 *десиметровъ*, 100 *сантиметровъ* или 1000 *миллиметровъ*; 1000 метровъ составляютъ путевую мѣру *километръ*, 468.7 *саж.*

Въ Пруссіи и большей части Германіи основною мѣрою служитъ рейнландскій *футъ* (Rhein. Fuss); длиною въ 12.357 англ. дюймовъ, онъ дѣлится на 12 *дюймовъ* (Zoll), дюймъ на 12 *линій*; въ послѣднее время начали вводить

десятичное дѣленіе фута; 12 футовъ составляютъ *руту* (Ruthe); 24.000 футовъ — *милю* (Meile), 3,530.48 саж.

Австрійскій или вѣнскій *футъ* (Schuh) содержитъ 12.446 англійскихъ дюймовъ, онъ дѣлится на *дюймы* и *линіи* по дюжинной системѣ; *клафтеръ* (Klafter), длиною въ 6 вѣнскихъ футовъ, имѣетъ десятичное дѣленіе; австрійская *миля* содержитъ 24.000 вѣнскихъ футовъ, 3,555.87 саж.

Указомъ Петра I въ Россіи введены англійскія мѣры длины: 7 футъ составляютъ 1 *сажень*, которой треть называется *аршиномъ*, онъ содержитъ 28 англійскихъ дюймовъ и дѣлится на 16 *вершковъ*.

Указомъ 11 Октября 1835 года основною мѣрою длины въ Россіи установлена сажень; на особую комиссію возложено было тогда изготовить нормальную сажень изъ платины и мѣди и сдѣлать двѣ желѣзныя копіи съ нее, изъ которыхъ одну передать на храненіе въ С. Петербургскій монетный дворъ, а другую въ Московскій Арсеналъ; сверхъ того комиссія должна была приготовить согласно нормальной мѣрѣ мѣдные аршины для отправленія во всѣ казенныя палаты и уѣздныя казначейства. Комиссія сличила изготовленную ею сажень съ ярдомъ, который хранится въ Главномъ Штабѣ и который былъ сличенъ въ 1833 году капитаномъ Кетеромъ съ Уестминстерскимъ ярдомъ.

Русская *сажень* дѣлится на 7 *футъ*, футъ на 12 *дюймовъ*, дюймъ на 10 *линій*; употребительно дѣленіе фута на десятыя и сотыя доли; нынѣ вводится дѣленіе сажени по десятичной системѣ на сотыя и тысячныя доли.

Сажень дѣлится также на 3 *аршина*, аршинъ на 16 *вершковъ*. Русская путевая мѣра *верста* содержитъ 500 саженъ. Мѣрная *цѣпь* дѣлается длиною въ 10 саженъ.

5. Мѣры поверхностей. Для измѣренія поверхностей употребляются *квадратные дюймы*, *квадратные футы* каждый въ 144 кв. дюйма и сверхъ того другія мѣры какъ то: въ Англіи *квадратный ярдъ* въ 9 кв. футъ, въ Пруссіи *квадратная рута* въ 144 кв. прусскихъ фута, въ Австріи *квадратный клафтеръ* въ 36 кв. вѣнскихъ футовъ, въ Россіи *квадратная сажень* въ 49 кв. англійскихъ фута.

Поземельныя мѣры въ этихъ странахъ суть: въ Англіи *экръ* (acre) въ 42,560 кв. футъ или 868.571 кв. сажени; въ Пруссіи *моргенъ* (Morgen) въ 180 кв. рутъ или 27,483.676 кв. англ. футъ, 560.89 кв. сажень; въ Австріи *іохъ* (Joch) въ 1600 кв. клафтеровъ, 66,816.565 кв. англ.

футъ или 1,364.42 кв. сажень; въ Россіи *десятина* въ 2400 кв. сажень.

Въ Франціи употребляются *квадратные сантиметры* и *квадратные метры*, каждый въ 10,000 кв. сантиметровъ; для мѣры земли основная единица есть *аръ* въ 100 кв. метровъ, употребляется же *эктаръ* (hectare) въ 10,000 кв. метровъ, 107,643 кв. фута или 2196.78 кв. сажень.

6. Мѣры объемовъ. Объемы измѣряются *кубическими дюймами* и *кубическими футами* каждый въ 1728 куб. дюймовъ.

Въ Англіи употребительны: *кубическій ярдъ* въ 27 куб. футъ или 0.0787 куб. сажени, для сыпучихъ тѣлъ *бушель* (Bushel = $^1/_8$ quarter) въ 2,218.995 куб. дюймовъ, для жидкостей *галлонъ* (gallon) 277.274 куб. дюйма; въ 1 куб. футѣ $6^1/_4$ галлоновъ.

Въ Пруссіи *шахтрута* въ 144 рейнл. куб. фута, она равна 0.4584 куб. саж.; для сыпучихъ тѣлъ *шеффель* (Scheffel) въ 3354.14 англ. куб. дюйма, для жидкостей *эймеръ* (Eimer = 60 quart) въ 3173.41 англ. куб. дюйма.

Въ Австріи *кубическій клафтеръ* въ 216 куб. футъ вѣнскихъ или 0.7025 куб. саж.; для сыпучихъ тѣлъ *мице* (Metze) 3753.43 англ. куб. дюймовъ. для жидкостей *эймеръ* въ 3454.45 англ. куб. дюйма.

Въ Франціи *кубическій метръ* или *стеръ* въ 0.10296 куб. сажень: основная мѣра для объемовъ есть *литръ* или кубическій десиметръ, но употребляется *эктолитръ* (hectolitre) въ 610.27 англ. куб. дюймовъ.

Въ Россіи употребляется *кубическая сажень* въ 343 куб. фута, для сыпучихъ тѣлъ *четверикъ* ($^1/_8$ четверти или куля) въ 1,601.212 куб. дюймовъ, для жидкостей *ведро* ($^1/_{40}$ бочки) въ 750.568 куб. дюймовъ; въ кубической сажени можно считать $46^1/_4$ четвертей или $19^1/_2$ бочекъ, а въ кубическомъ футѣ 1.08 четверика или 2.3 ведра.*)

7. Масштабъ плана. Масштабомъ называется отношеніе между длиною линіи на мѣстѣ и длиною ея на бумагѣ: онъ выражается или дробью, которая показываетъ степень уменьшенія, или числомъ линейныхъ единицъ на бумагѣ, замѣняющихъ число единицъ на землѣ; дроби употребляются или десятичныя или такія, у которыхъ числи-

*) Таблицы для перевода иностранныхъ мѣръ въ Русскія помѣщены въ 1й части памятной книжки для Инженеровъ и Архитекторовъ на стр. 185.

тель единица, напримѣръ 1—2500^{я} или 0.0004 т. е. 1 миллиметръ за $2^1/_2$ метра или 1 сотая сажени за 25 сажень; при употребленіи дюймовъ для измѣренія линій на бумагѣ, а футовъ, саженей или верстъ для опредѣленія разстояній на мѣстѣ, масштаба нельзя выразить конечною десятичною дробью напримѣръ: 5 сажень въ 2 дюймахъ или 1—210.

При выборѣ масштаба должно руководствоватся тѣмъ, чтобы отношеніе между длиною линій на бумагѣ и на землѣ выражалось возможно простѣйшимъ числомъ, чтобы предметы означаемые на планѣ изображались въ величинѣ соотвѣтствующей цѣли, для которой составляется планъ иногда нужно выбирать масштабъ такъ, чтобы планъ даннаго участка земли помѣстился на листѣ бумаги данной величины. Такъ планы городовъ и селеній дѣлаются въ бо̀льшемъ масштабѣ, нежели планы полей и лѣсовъ; планъ для назначенія общаго расположенія какой нибудь постройки имѣетъ бо̀льшій масштабъ, нежели тотъ планъ, который служитъ при выборѣ мѣста для постройки; наконецъ для того, чтобы представить постройку во всѣхъ ея подробностяхъ, надобно взять еще бо́льшій масштабъ.

Вотъ нѣкоторые употребительные масштабы:

1—4.200.000	100 верстъ въ дюймѣ	Почтовая карта Россіи
1—1.680.000	40 верстъ въ дюймѣ	Военно-дорожныя, гидрографическія карты, карты сѣти дорогъ.
1—840.000	20 верстъ въ дюймѣ	Маршрутныя карты.
1—420.000	10 верстъ въ дюймѣ	Подробныя карты Европейской Россіи, карты судоходныхъ системъ и дорогъ.
1—126.000	3 версты въ дюймѣ	Военно-топографическіе, семи-топографическіе планы и карты въ означеніемъ ситуаціи.
1— 84.000	2 версты въ дюймѣ	
1— 42.000	1 верста въ дюймѣ	
1— 21.000	250 сажень въ дюймѣ	Общіе проэкты сооруженій.
1— 16.800	200 сажень въ дюймѣ	Общіе планы городовъ и селеній.
1— 8.400	100 сажень въ дюймѣ	Спеціальные межевые планы, съемочные планы для строительныхъ работъ.
0.0001	1 сотая саж. за 100 саж.	
1— 4.200	50 сажень въ дюймѣ	Подробные планы городовъ и селеній
0.0002	1 сотая саж. за 50 саж.	
1— 2.100	25 сажень въ дюймѣ.	Общее разположеніе строеній, дорогъ, каналовъ и пр.
0.0005	1 сотая саж. за 20 саж.	
1— 1.680	20 сажень въ дюймѣ	
1—252	3 сажень въ дюймѣ	Планы, фасады, разрѣзы домовъ, мостовъ, плотинъ.
0.004	1 сотая саж. за $2^1/_2$ саж.	

1—84	1 сажень въ дюймѣ	Чертежи машинъ, частей сооруженій и машинъ.
0.01	1 сотая саж. за саж.	
1—42	$^1/_2$ сажени въ дюймѣ	
0.05	5 сотыхъ саж. за саж.	
	и т. д.	

8. Масштабъ прорѣзовъ. Разстоянія горизонтальныя должны быть въ прорѣзѣ въ томъ же масштабѣ какъ и въ планѣ, къ которому прорѣзъ относится; исключенія изъ этаго правила допускаются только для нѣкоторыхъ мѣстъ, гдѣ предполагаются особенныя сооруженія; напримѣръ въ продольныхъ прорѣзахъ тѣхъ мѣстъ, гдѣ предполагаемая дорога пересѣкается другими дорогами или рѣками, могутъ быть употребляемы для разстояній масштабы, бо̀льшіе нежели въ планахъ.

Масштабъ *высотъ* или отвѣсныхъ разстояній бываетъ большею частью крупнѣе масштаба горизонтальныхъ разстояній, потому что относительное возвышеніе разныхъ точекъ земной поверхности очень мало сравнительно съ разстояніемъ ихъ по уровню, а точность въ назначеніи ихъ гораздо важнѣе для инженернаго дѣла нежели точность въ показаніи разстояній; притомъ же когда высоты представлены на чертежѣ въ бо̀льшемъ видѣ, то онѣ легче оцѣниваются на глазъ.

Если высоты выражены въ футахъ, а разстоянія въ саженяхъ, то всего удобнѣе сдѣлать увеличеніе масштаба въ 7 разъ т. е. одну и туже линію принимать для разстояній за нѣкоторое число сажень, а для высотъ за такое же число футовъ. При выраженіи разстояній и высотъ въ одинакихъ единицахъ отношеніе масштабовъ можетъ быть равно 10.

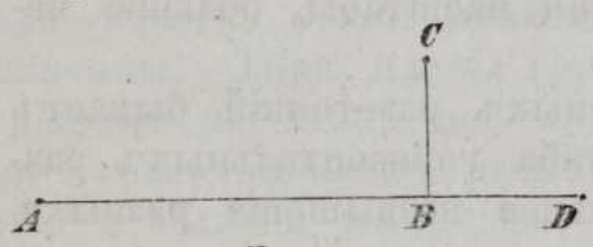
Разстоянія.	Высоты.	
100 сажень въ дюймѣ	100 футъ въ дюймѣ	Общіе продольные прорѣзы дорогъ и каналовъ.
1 сотая сажени за 100 сажень	1 сотая сажени за 10 сажень	
50 сажень въ дюймѣ	50 футъ въ дюймѣ	
1 сотая саж. за 50 саж.	1 сотая сажени за 5 саж.	
20 сажень въ дюймѣ	20 футъ въ дюймѣ	Подробные продольные и поперечные прорѣзы.
1 сотая сажени за 50 сажень	2 сотыя сажени за 5 сажень	

Одинаковость масштабовъ для разстояній и высотъ требуется въ тѣхъ прорѣзахъ, которые составляются для начертанія на нихъ проэктовъ большихъ сооруженій изъ

камня, дерева или желѣза, таковы мосты, плотины, набережныя и т. п.; масштабъ принимается тотъ же самый въ какомъ чертится сооруженіе, напримѣръ 2 или 3 сажени въ дюймѣ или 1 сотая сажени за 2 или $2^1/_2$ сажени т. е. 0.005 или 0.004.

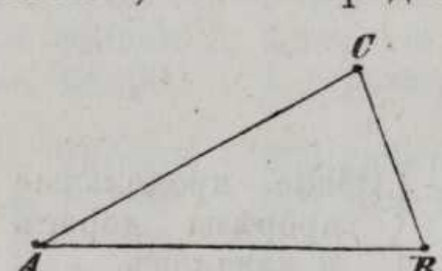
9. Способы съемки. Для производства съемки есть два главныхъ способа: *измѣреніе разстояній* употребляется для нанесенія на бумагу подробностей мѣстности, и *треугольники* для назначенія главныхъ пунктовъ или *становъ* (stations), а также иногда и подробностей.

Первый способъ: На чер. 1 A представляетъ какую нибудь опредѣленную точку мѣстности, AD линію идущую отъ этой точки въ извѣстномъ направленіи; для того чтобы опредѣлить положеніе точки C, находящейся внѣ этой линіи, надобно опустить изъ нее перпендикуляръ CB на AD и измѣрить разстояніе отъ начальнаго пункта A до подошвы B этаго перпендикуляра и длину перпендикуляра CB (offset); за тѣмъ надобно отложить на бумагѣ въ соотвѣтственномъ масштабѣ обѣ измѣренныя длины и точка C будетъ *нанесена*. Въ нѣкоторыхъ, довольно рѣдкихъ впрочемъ случаяхъ, вмѣсто прямаго угла при точкѣ B откладывается острый уголъ. Этотъ способъ измѣренія разстояній есть общеупотребительный для нанесенія на планъ подробностей.



Чер. 1.

Второй способъ: A и B на чер. 2 представляютъ два пункта мѣстности, которыхъ относительное положеніе извѣстно, т. е. опредѣлено разстояніе между ними и направленіе прямой, которая ихъ соединяетъ; надобно опредѣлить на мѣстѣ и назначить потомъ на планѣ точку C въ такомъ же положеніи относительно A и B, какое она имѣетъ на землѣ. Этого можно достигнуть измѣреніемъ двухъ изъ четырехъ слѣдующихъ величинъ: разстояній AC и BC, угловъ CAB и ABC, и назначеніемъ на бумагѣ измѣренныхъ величинъ или другихъ, которыя будутъ по нимъ вычислены. Вычисляютъ обыкновенно длину линій AC и BC по измѣреннымъ угламъ при A и B, потому что на мѣстѣ углы измѣряются съ бо̀льшею точностію нежели длина линій, на бумагѣ же напротивъ



Чер. 2.

того длина линіи напосится точнѣе, нежели величина угла.

10. Употребленіе Тригонометріи. Такъ какъ на мѣстѣ измѣряются и на бумагу наносятся части триугольниковъ, то вычисленія, которыя надобно производить при составленіи плановъ, дѣлаются по правиламъ той части Математики, которая разсматриваетъ отношенія между частями триугольника, а именно *Тригонометріи.* Когда образуемый тремя линіями на землѣ триугольникъ такой величины, что кривизна земной поверхности можетъ быть оставлена безъ вниманія, тогда употребляются формулы плоской Тригонометріи; но когда кривизна земной поверхности должна быть взята въ расчетъ и стороны триугольниковъ нельзя считать прямыми линіями и надобно разсматривать ихъ какъ дуги круговъ, описанныя радіусами равными среднему радіусу земнаго шара, тогда вычисленія надобно дѣлать по правиламъ Сферической Тригонометріи; этаго впрочемъ при инженерныхъ съемкахъ не случается. Формулы этой Тригонометріи употребляются только тогда, когда случается надобность опредѣлить горизонтальное проложеніе угла, измѣреннаго въ плоскости наклонной къ уровню.

Всѣ тригонометрическія формулы, которыя могутъ понадобиться при нанесеніи на планъ произведенной съемки помѣщены въ III главѣ этой части.

11. Изысканія объ устройствѣ сооруженія или геодезическія дѣйствія Инженера производятся обыкновенно въ слѣдующемъ порядкѣ:

I. *Рекогносцировка* или *осмотръ* мѣстности съ цѣлью собрать свѣдѣнія объ средствахъ для возведенія постройки и опредѣлить приблизительно выгоднѣйшее для нее мѣсто; при этомъ инженеръ обращаетъ вниманіе на геологическое строеніе почвы и на мѣста, откуда можно добывать строительные матеріалы. Онъ долженъ запастись лучшими изъ существующихъ картъ или плановъ осматриваемой мѣстности; самъ же онъ дѣлаетъ

II. *Глазомѣрное опредѣленіе высотъ* (flying levels) отдѣльныхъ пунктовъ первостепенной важности въ отношеніи возможности постройки и направленія, какое ей дать или мѣста, гдѣ ее поставить; таковы нѣкоторыя точки хребтовъ горъ и тальвеговъ въ долинахъ, также тѣ точки, гдѣ придется возводить сооруженія особенной важности.

Получивъ при этихъ дѣйствіяхъ нѣкоторое общее по-

нятіе объ той мѣстности, гдѣ будетъ возводиться сооруженіе, Инженеръ дополняетъ его

III. *Пробными прорѣзами* (trial sections), которыя опредѣляются нивелированіемъ; при чемъ измѣряются разстоянія и относительныя высоты точекъ. Дѣйствіе это можетъ сопровождаться или нѣтъ *глазомѣрною съемкою* мѣстности, что̀ зависитъ отъ степени вѣрности и подробности тѣхъ плановъ, которые имѣются у Инженера.

Послѣ этаго онъ уже въ состояніи назначить мѣсто для предполагаемаго сооруженія тѣмъ точнѣе, чѣмъ искуснѣе и тщательнѣе были имъ произведены тѣ предварительныя дѣйствія, о которыхъ выше было говорено, и затѣмъ опредѣлить какое пространство должны обнимать

IV. *Подробные съемка и планъ*, объ которыхъ будетъ сказано въ § 12. На нихъ потребуется тѣмъ менѣе времени, труда и издержекъ, чѣмъ съ большею точностью опредѣлено было предъидущими дѣйствіями мѣсто, которое будетъ занимать предполагаемое сооруженіе.

V. *Дополнительные пробные прорѣзы* продольные и поперечные дѣлаются при помощи составленнаго плана съ тою цѣлью, чтобъ выбрать лучше линію или мѣсто постройки.

VI. *Назначеніе линіи.* Выбранная линія наносится на планъ и обозначается на мѣстѣ вѣхами или другими знаками. (см. § 13).

VII. *Подробные прорѣзы* изготовляются теперь тщательною нивеллировкою съ отнесеніемъ всѣхъ точекъ поверхности земли къ основной линіи; тогда получается на бумагѣ продольный и поперечные прорѣзы поверхности земли и можно уже назначить на ней высоты соотвѣтствующія предполагаемому сооруженію или провести *проэктную линію.* Нѣкоторыя высоты и другія свѣдѣнія обозначаются на чертежахъ особенными знаками, объ чемъ будетъ говорено въ послѣдствіи (§ 14, 15 и 16).

VIII. *Развѣдка грунта* колодцами или буреніемъ производится въ одно время съ нивелированіемъ, для опредѣленія пластовъ земли: буреніе требуетъ менѣе времени и и труда и меньше портитъ поверхность земли, нежели рытье колодцевъ, но доставляемыя имъ данныя менѣе удовлетворительны для Инженера или Производителя работъ. Свѣдѣнія полученныя при буреніи или рытьи колодцевъ могутъ быть выражены на планахъ и прорѣзахъ, которые составле-

ны Инженеромъ (см. § 17.): бо̀льшія подробности объ этомъ предметѣ будутъ изложены въ статьѣ о земляныхъ работахъ.

IX. *Чертежи и сметы.* Разныя постройки, входящія во составъ предполагаемаго сооруженія, могутъ быть теперь уже представлены на чертежахъ съ тою подробностью, какая требуется для составленія сметныхъ расчетовъ. (см. § 17.)

X. *Представленіе проэкта* на утвержденіе производится постановленнымъ законами административнымъ порядкомъ: объ этомъ здѣсь не говорится, потому что оно выходитъ изъ области Инженернаго Искусства; но проэктъ представляется иногда съ

XI. *Боковыми линіями и профилями.* При первоначальномъ составленіи плановъ и профилей иногда не достаетъ времени на совершенно точное опредѣленіе проэктныхъ линій въ планѣ и профилѣ, и потому назначаются на нихъ точками другія линіи, и испрашивается право выбрать при самомъ производствѣ работъ ту изъ линій, которая окажется выгоднѣе.

XII. *Съемка отчуждаемыхъ земель.* Если, какъ часто случается, дѣйствія указанныя въ статьѣ IV произведены были слишкомъ скоро, или планъ составленъ въ очень маломъ масштабѣ, то надобно произвести новую съемку и составить *оцѣночные планы* для того, чтобы опредѣлить количество и качество земель, которыя надобно будетъ купить у владѣльцевъ этихъ земель, но эта новая съемка ограничивается уже тѣмъ только пространствомъ, которое будетъ занимать предполагаемое сооруженіе, и потому производится очень быстро. (см. § 18.)

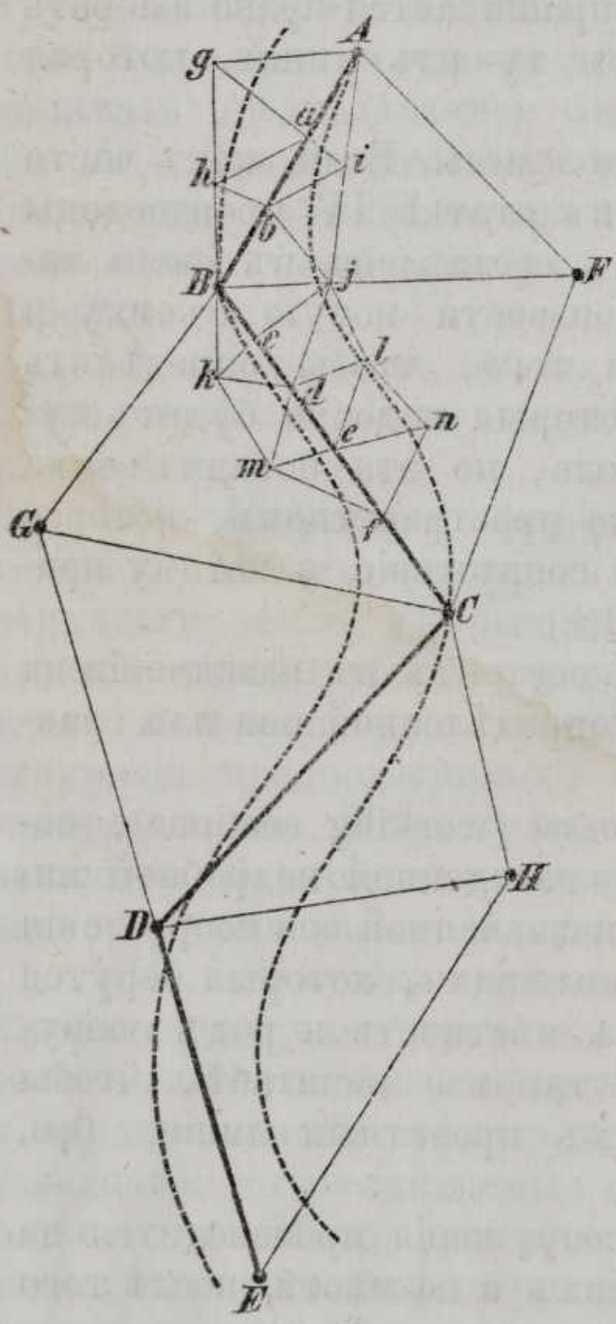
XIII. *Разбивка* сооруженія состоитъ въ назначеніи на землѣ колышками окончательно опредѣленной оси или главной линій этаго сооруженія.

XIV. *Исполнительные профили* (working sections), составляются послѣ тщательно произведенной подробной нивеллировки вдоль окончательно назначенной оси сооруженія и въ поперечныхъ къ ней направленіяхъ, которыя берутся такъ часто, какъ того требуетъ мѣстность и родъ сооруженія; они вычерчиваются въ такомъ масштабѣ, чтобы удобно было назначить на нихъ проэктныя линіи. (см. § 14, 15, 16.)

XV. *Назначеніе ширины* сооруженія производится на съемочныхъ и оцѣночныхъ планахъ и на мѣстѣ, послѣ того какъ она опредѣлена проэктными вычисленіями.

За тѣмъ мѣсто, которое будетъ занимать сооруженіе, можно нарѣзать и огородить, и приступить уже къ производству работъ.

12. Порядокъ дѣйствій подробной съемки. а. *Выборъ главныхъ становъ.* Съемщикъ, производя предварительный осмотръ мѣстности выбираетъ рядъ точекъ или становъ на мѣстахъ возвышенныхъ и открытыхъ, чтобы съ каждаго изъ нихъ можно было видѣть знаки, поставленные на другихъ сосѣднихъ станахъ, напримѣръ *вѣхи*, и чтобы можно было также видѣть съ нихъ наибольшее пространство окружающей мѣстности. Эти станы соединяются умственными прямыми линіями, которыя съ линіями, проведенными отъ нихъ къ нѣкоторымъ высокимъ строеніямъ, каковы башни, колокольни и т. п., должны составлять углы не менѣе 30° и не болѣе 120°; вершины по крайней мѣрѣ двухъ угловъ каждаго треугольника должны быть доступны для установки угломѣрнаго инструмента.



Чер. 3.

Изъ значительныхъ сооруженій, возводимыхъ Инженерами, самыя обширныя пространства обнимаютъ пути сообщенія: шоссе, желѣзныя дороги и каналы, и съемки, производимыя при изысканіяхъ объ ихъ устройствѣ, относятся къ полосѣ земли шириною до полуверсты, очень рѣдко до версты или болѣе. Пунктирною линіею на чер. 3 назначена полоса земли которую надобно снять на планъ; главные станы *A*, *B*, *C*, *D*, *E* такъ выбраны, что соединяющая ихъ ломаная линія идетъ по снимаемому участку: эту линію можно назвать *основною линіею* или *осью* съемки. Сѣть треугольниковъ дополняется станами *F*, *G*, *H* избираемыми, на окрестныхъ возвышеніяхъ или на строеніяхъ,

видимыхъ съ пунктовъ *A*, *B*, *C* и т. д. Главные станы означаются свайками, глубоко забиваемыми въ землю; а на время сниманія угловъ въ нихъ ставятся вѣхи или другіе сигналы.

б. *Провѣшиваніе основныхъ линій* (*station lines*). Когда линіи очень длинны и идутъ по неровной мѣстности или пересѣкаютъ какія нибудь препятствія, то можетъ случиться надобность въ постановкѣ по нимъ знаковъ въ нѣсколькихъ точкахъ, кромѣ оконечностей: для этаго употребляются вѣхи или колья и это всегда необходимо сдѣлать, если на линіи есть такія мѣста, съ которыхъ не видно конечныхъ ея пунктовъ.

в. *Триангуляція, измѣреніе основныхъ линій.* При большихъ геодезическихъ работахъ измѣряется только одна сторона въ сѣти треугольниковъ, величина же другихъ сторонъ опредѣляется вычисленіемъ по измѣреннымъ угламъ: но для инженерной съемки, которая при малой ширинѣ имѣетъ очень большую длину гораздо удобнѣе измѣрить длину каждой части основной линіи *AB*, *BC*, *CD* и т. д., потому что при этомъ измѣреніи отмѣчаютъ на мѣстѣ точки, которыя могутъ принадлежать другимъ меньшимъ треугольникамъ, и записываютъ, для нанесенія потомъ на планъ, пересѣченіе этихъ линій съ дорогами, ручьями, оврагами и другими предметами мѣстности. Форма основной линіи опредѣляется величиною угловъ *ABC*, *BCD* и т. д., которые должны быть измѣрены; опредѣленіе же величины угловъ *ABF*, *FBC*, *CBG*, *BCF* и т. д. составляемыхъ съ частями основной линіи такими линіями, которыя направлены на окружающіе предметы *F*, *G*, *H*, служитъ при пособіи тригонометрическихъ вычисленій для повѣрки величины измѣренныхъ угловъ и длины линій. Эта съемка, которую можно назвать *проходомъ вдоль*, можетъ простираться на нѣсколько десятковъ верстъ, но она же можетъ быть употребляема и для составленія плановъ небольшихъ, но узкихъ и извилистыхъ участковъ.

г. *Треугольники втораго разряда.* Съемщикъ избираетъ рядъ второстепенныхъ пунктовъ, частью на основной линіи каковы *a*, *b*, *c*, *d*, частью же въ сторонѣ отъ нее *g*, *h*, *i*, *j*, такъ чтобы линіи ихъ соединяющія проходили вблизи межъ, дорогъ, строеній и т. п.; предметы эти могутъ быть отнесены потомъ къ сторонамъ треугольниковъ втораго разряда посредствомъ перпендикуляровъ.

д. *Подробная съемка* вся можетъ быть произведена перпендикулярами, но можно значительно ее ускорить, употребляя иногда измѣреніе угловъ.

Нѣтъ никакой необходимости слѣдовать при производствѣ описанныхъ пяти дѣйствій непремѣнно тому порядку, въ которомъ они здѣсь изложены; можно дѣлать все разомъ или переходить отъ однаго дѣйствія къ другому, смотря по мѣстности и по обстоятельствамъ, и этимъ уменьшить потерю времени и труда, и слѣдовательно и издержки.

13. Разстоянія, высоты и другія надписи на планахъ. Когда на планѣ нанесена ось дороги, канала или другаго пути сообщенія, то вдоль ея назначаются версты, начиная съ исходнаго пункта пути; въ кривыхъ частяхъ оси должна быть надписана длина радіусовъ кривизны въ саженяхъ, а когда есть тонели, то и ихъ длина, часть линіи соотвѣтствующая тонелю дѣлается точками. Очень полезно имѣть на планѣ означенною цифрами высоту главнѣйшихъ точекъ мѣстности, а также *горизонтали*, въ особенности если по этому плану производится выборъ линіи для предполагаемаго пути.

14. Разстоянія, высоты, основный пунктъ и другія надписи на профилѣ. По основной линіи (datum line) на профилѣ должны быть означены версты также точно, какъ и на оси сооруженія въ планѣ, для удобнѣйшаго нахожденія соотвѣтствующихъ точекъ. Полезно имѣть вдоль основной линіи надпись возвышенія или пониженія ея относительно основнаго пункта (datum point), т. е. ясно обозначенной и легко отыскиваемой точки какого нибудъ постояннаго предмета, находящагося въ началѣ или въ концѣ сооруженія, такъ напримѣръ цоколя, подоконника или пояса каменнаго строенія, казеннаго или общественнаго преимущественно передъ частнымъ. Крыльца домовъ и пороги дверей не такъ удобны для этой цѣли, потому что стираются отъ ходьбы; впрочемъ когда время, въ продолженіи котораго могутъ быть нужны повѣрки, не велико, то можно и къ нимъ относить основную линію, точно также какъ и къ поверхности рельсовъ желѣзной дороги, какъ это иные дѣлаютъ, не смотря на все непостоянство этой поверхности. Къ предметамъ, которые ни подъ какимъ видомъ не могутъ быть приняты основными, относятся всѣ измѣняющіяся, даже весьма мало, поверхности, таковъ горизонтъ

воды не только въ рѣкѣ, но даже и въ каналѣ, и вообще всякая воображаемая поверхность.

На прорѣзахъ надписываются высоты предполагаемаго сооруженія относительно основной линіи въ разныхъ его точкахъ, въ особенности напримѣръ при проэктированіи желѣзныхъ дорогъ въ тѣхъ точкахъ, гдѣ продольный уклонъ поверхности рельсовъ измѣняется; уклоны предполагаемой дороги, и тѣхъ дорогъ, которыя предполагается перестроить по случаю ея постройки; наибольшая глубина выемокъ и высота насыпей; длина тонелей, мостовъ и путепроводовъ; измѣненіе горизонта существующихъ путей; родъ сооруженій, которыя будутъ устроены на пересѣченіяхъ, будутъ ли эти мосты черезъ старую или новую дорогу, или переходы въ горизонтѣ дороги; ширина отверстій этихъ мостовъ и ихъ подъемъ надъ уровнемъ дороги. При этомъ надобно руководствоваться существующими постановленіями. *)

Исполнительный прорѣзъ долженъ содержать означеніе въ цифрахъ высоты земной поверхности, высоты проэктной линіи, глубины выемки или высоты насыпи въ каждой нивелированной точкѣ; всѣ эти величины должны быть опредѣлены вычисленіемъ, а не взяты съ чертежа по масштабу.

15. Повѣрительныя точки нивелированія (bench marks), берутся на постоянныхъ предметахъ, находящихся вблизи дороги въ разстояніи отъ 2 до 3 верстъ одинъ отъ другаго, преимущественно же около предполагаемыхъ большихъ сооруженій, каковы мосты: если нѣтъ постоянныхъ предметовъ, къ которымъ можно было бы относить нивеллируемыя точки, то забиваютъ нарочно въ землю свайки и опредѣляютъ нивеллировкою высоту ихъ головъ относительно точекъ на оси дороги; ихъ надобно помѣщать въ такихъ мѣстахъ, гдѣ бы онѣ не подвергались порчѣ или уничтоженію, по крайней мѣрѣ до окончація постройки сооруженія.

16. Повѣрительная нивелировка состоитъ въ опредѣленіи высотъ всѣхъ точекъ для повѣрки произведенныхъ прежде дѣйствій. При предварительномъ нивелированіи повѣряются высоты только главныхъ точекъ: на хребтахъ горъ, на тальвегахъ долинъ, пересѣченіяхъ съ дорогами и

---

*) Постановленіе о предѣлахъ размѣровъ подвижнаго состава и приближенія строеній къ путямъ желѣзныхъ дорогъ въ Россіи.

повѣрительныхъ знакахъ; а въ исполнительныхъ прозрѣзахъ высота каждой точки должна быть повѣрена.

17. Изслѣдованіе грунта и стоимость сооруженій. Инженеру полезно имѣть копію съ плана, на которой показать свѣдѣнія, полученныя при развѣдкѣ грунта, и надписать стоимость сооруженій противу тѣхъ мѣстъ, гдѣ предполагается ихъ возвести.

18. Ось дороги есть основаніе оцѣночной съемки. Когда ось желѣзной дороги назначена на землѣ посредствомъ кольевъ, то она можетъ быть принята за основаніе съемки для составленія оцѣночныхъ плановъ, части ея могутъ служить сторонами триугольниковъ втораго разряда; а если по этой оси разставлены колья въ равномъ разстояніи, напримѣръ черезъ каждыя 100 сажень, то точки въ которыхъ стоятъ эти колья будутъ вершины угловъ триугольниковъ. Это дѣлается тогда, когда отходящія подъ дорогу угодья не были опредѣлены при производствѣ большой триангуляціи.

19. Поврежденія. Инженеръ долженъ всѣ свои дѣйствія производить съ осторожностью, нанося возможно меньшій вредъ проходимымъ при съемкѣ угодьямъ каковы поля, лѣса, сады.

20. Содержаніе послѣдующихъ главъ. Въ этой главѣ дано общее понятіе объ съемкѣ, нивелированіи и разбивкѣ, остальныя же главы этой части посвящены будутъ подробному изложенію этихъ предметовъ въ слѣдующимъ порядкѣ:

Съемка цѣпью. — Съемка угломѣрными инструментами. — Нивелировка. — Разбивка сооруженій. — Морская съемка. — Перечерчиваніе, увеличиваніе и уменьшеніе плановъ.

Объясненіе нѣкоторыхъ особенностей при производствѣ съемокъ, зависящихъ отъ рода предполагаемыхъ сооруженій, изложены будутъ въ статьяхъ объ этихъ сооруженіяхъ.

ГЛАВА II.

СЪЕМКА ЦѢПЬЮ.

21. Знаки и сигналы. Оставляемые на станахъ знаки должны быть таковы, чтобъ ихъ легко было находить, напримѣръ свайки такой длины и толщины, чтобы трудно было ихъ испортить или вытащить; обыкновенно ихъ забиваютъ ручною бабою вровень съ поверхностью земли или оставляютъ на виду голову на два или на три дюйма. Если знакъ долженъ существовать весьма долго, то онъ состоитъ изъ большаго камня вѣсомъ пудовъ 10 или болѣе, зарываемаго въ землю, и на поверхности его вытѣсывается крестъ, надпись или какая нибудь фигура.

Если станъ такъ расположенъ, что оставленный тамъ знакъ легко можетъ быть разрушенъ, напримѣръ на проѣзжей дорогѣ, на обработываемой землѣ, то его замѣняютъ четырьмя знаками, располагаемыми вокругъ стана такимъ образомъ, чтобы соединяющія эти знаки діагональныя линіи пересѣкались въ центрѣ стана; можно употребить и меньшее число знаковъ напримѣръ три и записать ихъ разстояніе до центра стана; такіе въ сторонѣ находящіеся знаки могутъ быть замѣняемы постоянными предметами мѣстности, существующими вблизи стана, преимущественно каменными строеніями, въ этомъ случаѣ записывается разстояніе центра отъ угловъ строенія; иногда центръ стана находится на прямой линіи, проходящей чрезъ два постоянные, существующіе на мѣстѣ, предмета, и тогда замѣчается разстояніе до ближайшаго изъ нихъ. Тѣ точки, въ которыхъ основная линія съемки пересѣкаетъ заборы и ограды, озна-

чаются мѣтками, вытѣсываемыми въ деревѣ или камнѣ, изъ которыхъ сдѣлана ограда.

Для сигналовъ, устанавливаемыхъ на станахъ, чтобъ ихъ можно было видить издали, употребляются преимущественно вѣхи: это жерди высотою отъ 1 до $1^1/_2$ сажень, выкрашенныя бѣлой и черной краской полосами, съ желѣзными башмаками внизу и съ флагами на верху: хотя бѣлый флагъ видѣнъ на бо̀льшемъ разстояніи, однакоже преимущественно употребляются красные флаги, потому что ихъ легче отличать отъ окружающихъ предметовъ. На концахъ основныхъ линій ставятся высокія вѣхи, сажени въ 3 или 4; такія же вѣхи надобно ставить и въ мѣстахъ закрытыхъ, а для удержанія ихъ въ отвѣсномъ положеніи употреблять подпорки или ванты т. е. три или четыре веревки, привязываемыя однимъ концемъ къ вѣхѣ выше ея средины и къ свайкамъ, забитымъ въ землю.

Всѣ колья и вѣхи должны быть установлены и укрѣплены въ отвѣсномъ положеніи, которое, особенно для высокихъ вѣхъ, вывѣряется по отвѣсу.

Для временной отмѣтки поставленныхъ кольевъ можно закладывать куски бѣлой бумаги въ разщепъ, сдѣланный въ верхушкѣ кола.

Чтобы облегчить провѣшиваніе прямыхъ линій всего удобнѣе направлять ихъ, если только окажется возможнымъ на видимые издали высокіе предметы мѣстности, таковы отдѣльно стоящіе деревья, колокольни, высокія трубы домовъ.

22. **Мѣрная цѣпь.** Для измѣренія основанія большой геодезической съемки, обнимающей цѣлую страну, употребляется *базисный приборъ*, состоящій изъ стекляныхъ или металлическихъ жезловъ, которыхъ измѣненіе отъ дѣйствія температуры опредѣлено или непосредственными опытами или вычисленіемъ; для этаго можетъ также служить цѣпь изъ плоскихъ стальныхъ звѣньевъ, связанныхъ шарньерами, она кладется на верхушки выровненныхъ въ прямую линію подставокъ и удерживается въ натянутомъ положеніи гирею, которая прикрѣплена къ ея концу веревкою, переходящею черезъ блокъ; степень ея вытягиванія должна быть опредѣлена заранѣе.

При инженерныхъ съемкахъ нѣтъ надобности употреблять такой сложный и точный инструментъ, достаточно простой *мѣрной цѣпи*: она состоитъ изъ желѣзныхъ звѣньевъ или кусковъ проволоки съ проушинами на концахъ для

связыванія между собою овальными кольцами; хорошо дѣлать по три такихъ кольца на каждой вязкѣ на случай разрыва; кольца должны быть сварены, потому что разрѣзанныя кольца скорѣе вытягиваются. Въ русской мѣрной цѣпи семьдесятъ футовыхъ звѣньевъ, такъ что она имѣетъ 10 сажень въ длину; черезъ каждыя семь звѣньевъ помѣщается мѣдная бляха съ означеніемъ числа сажень отъ конца цѣпи, на концѣ 2й сажени помѣщается такая же бляха какъ и на концѣ 8й, у 3й такая какъ у 7й и т. д. а по срединѣ находится бляха безъ всякаго знака или бо̀льшая чѣмъ другія. На концахъ цѣпи есть большія кольца или рукоятки, за которыя ее тащатъ; длина цѣпи считается отъ края большаго кольца въ одномъ концѣ цѣпи до такого же края въ другомъ концѣ.

Всякая ежедневно употребляемая въ дѣло цѣпь увеличивается въ длинѣ отъ постояннаго вытягиванія ея и уменьшается отъ сгибанія звѣньевъ и засориванія колецъ, въ которые набивается пыль и грязь; по этому надобно ежедневно ее свѣрять или по такой цѣпи, которая для этаго только и служитъ или по разъ вѣрно промѣренному и постоянными знаками отмѣченному растоянію, напримѣръ двумя чертами на каменной прямой стѣнѣ или двумя забитыми въ землю свайками. Если при повѣркѣ окажется, что цѣпь не имѣетъ надлежащей длины, то надобно вычистить кольца, выпрямить звѣнья, измѣнить форму колецъ нѣсколькими ударами молота; если этаго недостаточно для вывѣрки цѣпи, то можно замѣтить ея погрѣшность и принимать въ расчетъ при измѣреніи линій: пусть напримѣръ цѣпь длинѣе 10 сажень на $^3/_4$ дюйма, а ею отмѣренно 352 сажени т. е. отложено 35.2 цѣпи, тогда истинная длина линіи будетъ 10 саженъ + $^3/_4$ дюйма, повторенные 35.2 раза или 352.31 сажени.

Къ цѣпи принадлежатъ десять *шпилекъ*, сдѣланныхъ изъ толстой проволоки, у шпильки одинъ конецъ острый, а на другомъ кольцо, которое надѣвается на руку, хорошо обертывать ихъ кусками красной матеріи, воткнутая въ землю шпилька тогда замѣтнѣе; нѣкоторые съемщики предпочитаютъ имѣть при цѣпи девятнадцать шпилекъ: девять желѣзныхъ и десять мѣдныхъ.

Для измѣренія цѣпью нужно двухъ рабочихъ: они вытягиваютъ цѣпь по измѣряемой линіи и расправляютъ ее; одинъ изъ рабочихъ, передній, беретъ всѣ шпильки и передній

конецъ цѣпи за кольцо прямо или при помощи цѣпнаго кола, идетъ по линіи направляясь по вѣхамъ; задній рабочій держитъ другое кольцо и, когда подойдетъ къ починному пункту линіи, кричитъ переднему рабочему, чтобъ тотъ остановился, а самъ прикладываетъ край своего конца цѣпи въ знаку, поставленному въ починномъ пунктѣ: остановленный имъ передній рабочій, снимаетъ одну шпильку съ лѣвой руки, беретъ ее въ правую, которою держитъ конецъ цѣпи; отойдя въ сторону отъ линіи, онъ нагибается и опускаетъ правую руку къ землѣ съ концомъ цѣпи и со шпилкою, которая должна имѣть отвѣсное положеніе; задній рабочій словами или знаками направляетъ эту шпильку по прямой линіи и когда она вывѣрена, тогда передній рабочій втыкаетъ ее въ землю, встаетъ и идетъ дальше съ переднимъ концомъ цѣпи. Хорошо, если онъ знаетъ число шаговъ, которое дѣлаетъ на 10 саженяхъ; считая свои шаги, онъ будетъ знать самъ, когда остановиться, не ожидая крика задняго рабочаго, и не протащитъ цѣпь за поставленную прежде шпильку. Задній рабочій, дойдя до поставленной шпильки, останавливаетъ передняго крикомъ, наклоняется къ землѣ, чтобъ выровнять новую шпилку и приложить свой конецъ къ первой шпилькѣ, которую вынимаетъ изъ земли и надѣваетъ кольцомъ на лѣвую руку, когда нужно идти дальше: во время измѣренія линіи онъ долженъ заботиться объ томъ, чтобы цѣпь не задерживалась, не задѣла и не опрокинула поставленную переднимъ рабочимъ шпилку. Дойдя до этой шпильки, онъ опять останавливаетъ, выравниваетъ передняго рабочаго, вынимаетъ вторую шпильку и т. д.; если передній идетъ вѣрно по линіи, то почти нѣтъ надобности его выравнивать. Шпильки переходятъ постепенно изъ рукъ передняго къ заднему рабочему и если съемщику нужно знать пройденное разстояніе, то онъ считаетъ только число шпилекъ, которыя находятся на рукѣ у задняго рабочаго: это будетъ число десятковъ саженъ. Воткнувъ послѣднюю или десятую шпильку, передній рабочій даетъ объ томъ знать съемщику словомъ *сто*, а самъ идетъ еще на одну цѣпь впередъ; задній рабочій вынувъ послѣднюю шпильку, идетъ къ переднему и передаетъ ихъ по счету этому рабочему, который втыкаетъ одну шпильку въ землю и идетъ дальше.

При употребленіи девятнацати шпилекъ передній рабочій, израсходовавъ девять желѣзныхъ шпилекъ, ставитъ

мѣдную, даетъ объ томъ знать съемщику, который отмѣчаетъ въ журналѣ сотню, и заднему рабочему; этотъ приноситъ ему девять желѣзныхъ шпилекъ, а себѣ беретъ воткнутую въ землю мѣдную шпильку. Съемщикъ, желая знать пройденное разстояніе, считаетъ число сотень сажень по числу мѣдныхъ, а число десятковъ по числу желѣзныхъ шпилекъ, которыя находятся въ рукахъ задняго рабочаго. Послѣ прохода тысячи сажень передній рабочій получаетъ отъ задняго всѣ девятнадцать шпилекъ.

Во время измѣренія длины линіи цѣпью съемщикъ, который идетъ возлѣ, записываетъ всѣ разстоянія, соотвѣтствующія пересѣченіямъ линіи съ предметами мѣстности, выбираетъ пункты для вершинъ треугольниковъ втораго разряда, распоряжается постановкою знаковъ въ этихъ пунктахъ, а также верстовыхъ столбовъ и даже сотенныхъ кольевъ, если это нужно.

23. Измѣреніе по уклону, приведеніе къ уровню. Длину линіи, идущей не горицонтально, надобно привести къ уровню, потому что на планъ должна быть нанесена не самая линія, а горицонтальное ея проложеніе: приведеніе это дѣлается удобнѣе всего вычетомъ погрѣшности отъ уклона изъ длины линіи, полученной по измѣренію; она вычисляется по извѣстному углу наклоненія линій къ уровню или по ея паденію на длину одной цѣпи. Вычисленіе на одну цѣпь дѣлается по одной изъ слѣдующихъ двухъ формулъ:

$$\delta = 20 \sin \frac{\Theta}{2} \text{ (1)}; \quad \delta = \frac{h^2}{20} \text{ (2)}$$

Въ формулѣ (1) Θ есть уголъ наклоненія линіи къ уровню, опредѣляемый высотомѣромъ, въ формулѣ (2) h означаетъ паденіе линіи, выраженное въ саженяхъ, т. е. число сажень и частей сажени на сколько одинъ конецъ цѣпи выше другаго, что можетъ быть опредѣлено ватерпасомъ съ рейкою.

Ватерпасъ можетъ быть употребленъ для непосредственнаго измѣренія длины проложенія линіи, но работа имъ очень медленна, и потому имъ можно пользоваться только на очень крутыхъ скатахъ.

24. Перпендикулярами или **ординатами** называются разстоянія, измѣряемыя въ поперечномъ направленіи къ оси съемки или основной ея линіи, до предметовъ мѣстности, которые должны быть нанесены на планъ; таковы: повороты

и пересѣченія межъ или оградъ, дорогъ, береговъ рѣкъ, краевъ овраговъ, угловъ строеній и т. п. Съемщикъ записываетъ разстояніе подошвы *B* (чер. 1.) перпендикуляра до начальной точки *A* линіи, и длину перепендикуляра *CB* по той сторонѣ черты, проведенной вдоль журнальнаго листа, по которой находится опредѣляемая точка. Короткія ординаты, не длиннѣе одной цѣпи, можно проводить на глазъ подъ прямыми углами къ оси съемки; перпендикуляры въ двѣ или три цѣпи могутъ быть тоже проводимы на глазъ до предметовъ, которые ограничены линіями параллельными оси съемки; но длинные перпендикуляры, особенно тѣ, которыми опредѣляется положеніе значительныхъ предметовъ мѣстности, должны быть возставляемы посредствомъ инструментовъ, называемыхъ *экерами*.

Простой экеръ состоитъ изъ палки, въ $^3/_4$ сажени вышиною съ башмакомъ внизу, она втыкается въ землю и на верхушку ея надѣвается мѣдный кругъ съ четырьмя діоптрами или мѣдный цилиндръ съ четырьмя прорѣзами, расположенными въ равныхъ растояніяхъ.

Зеркальный экеръ есть мѣдная круглая или четыреутольная коробка, въ которой помѣщены одно или два зеркала и есть очко, сквозь которое смотрятъ; боковая поверхность или грани коробки не сплошныя, а съ широкими прорѣзами. У экера съ однимъ зерлаломъ въ прорѣзѣ, противоположномъ очку натянутъ волосокъ и зеркало помѣщено подъ угломъ въ 45° къ визирной линіи, идущей отъ очка къ волоску; въ экерѣ съ двумя зеркалами, они помѣщены подъ угломъ въ 45° одно къ другому и то изъ нихъ, которое противъ очка, имѣетъ высоту вдвое менѣе нежели другое для того, чтобы можно было смотрѣть поверхъ его. Когда нужно опустить перпендикуляръ отъ какого нибудь предмета на линію, то съемщикъ идетъ по этой линіи, держа экеръ очкомъ у глаза и направлая волосокъ на вѣху въ концѣ линіи, когда онъ увидитъ въ зеркалѣ отраженіе предмета прямо противъ волоска, тогда это значитъ что онъ находится въ подошвѣ перпендикуляра: лучь свѣта идущій отъ этаго предмета къ зеркалу отражается отъ него и приходитъ къ глазу по направленію визирной линіи, эта визирная линія составляетъ съ зеркаломъ половину прямаго угла; а какъ уголъ паденія равенъ углу отраженія, то лучь отъ предмета упалъ на зеркало также подъ угломъ въ 45°, и слѣдовательно падающій лучь съ отраженнымъ составляютъ

прямой уголъ. Въ экерѣ съ двумя зеркалами лучь, идущій отъ предмета падаетъ на большое зеркало, по отраженіи въ немъ падаетъ на малое, а потомъ уже отражается къ глазу въ направленіи перпендикулярномъ къ первоначальному, слѣдовательно если съемщикъ видитъ боковой предметъ отраженнымъ въ маломъ зеркалѣ противъ вѣхи, на которую смотритъ поверхъ этаго зеркала, то онъ находится въ подошвѣ перпендикуляра.

Для повѣрки экера ставятъ его въ какую нибудь точку, на примѣръ A на верхушку срѣзаннаго горизонтально кола вышиною въ $^3/_4$ сажени и, глядя въ очко, поворачиваютъ экеръ такъ, чтобы колъ B, выставленный саженяхъ въ 20 отъ A, отразился бы въ зеркалѣ противъ волоска; въ поле посылаютъ рабочаго съ коломъ, который долженъ быть выставленъ въ точкѣ C противъ волоска на такомъ же почти разстояніи какъ B, только онъ долженъ быть видѣнъ поверхъ зеркала; экеръ поворачиваютъ на верхушкѣ кола A такъ, чтобы видѣть колъ C отраженнымъ въ зеркалѣ противъ волоска; и глядя по верхъ зеркала, направляютъ колъ D противъ волоска; поворотивъ еще разъ экеръ ставятъ четвертый колъ E. Когда сдѣлать теперь четверть оборота и колъ E отразится въ зеркалѣ противъ волоска, то первый поставленный въ B колъ долженъ быть видѣнъ поверхъ зеркала противъ волоска и тогда экеръ вѣренъ. Если колъ B отходитъ отъ волоска, то погрѣшность исправляется винтомъ при зеркалѣ, измѣняя его наклоненіе къ визирной линіи такъ, чтобъ отраженіе кола E отошло отъ волоска на четверть того разстоянія, на которое отходитъ колъ B; послѣ того повторяютъ повѣрку.

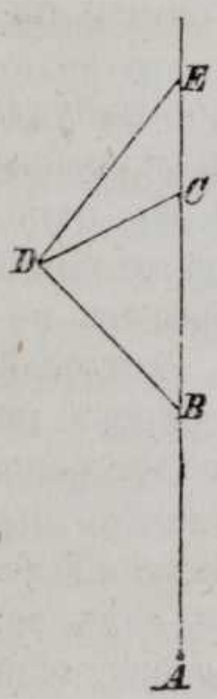
Вмѣсто зеркальнаго экера можно употреблять *карманный секстантъ*, описанный въ § 37., поставивъ его указателя на 90^0.

Можно возставлять перпендикуляры, строя на землѣ цѣпью или *рулеткою* прямоугольные треугольники; стороны этихъ треугольниковъ должны имѣть такую длину, чтобъ квадратъ одной изъ нихъ былъ равенъ суммѣ квадратовъ двухъ другихъ, таковы длины 3, 4 и 5; 5, 12 и 13; 8. 15 и 17 и т. п. *)

---

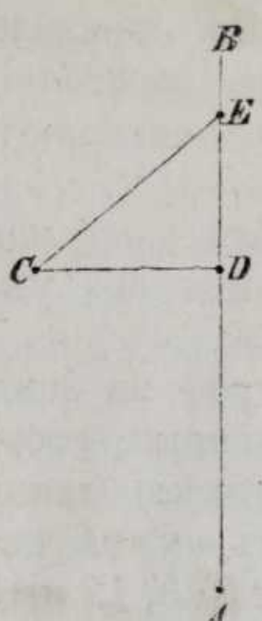
*) Вообще три числа удовлетворяющіе формуламъ $x = 2mn$ $y = m^2 - n^2$, $z = m^2 + n^2$, гдѣ m и n произвольныя числа.

25. Наклонныя ординаты или косоугольныя могутъ быть назначаемы посредствомъ угломѣрныхъ инструментовъ, каковы карманный секстанъ, цилиндрическая астролябія, маленькій теодолитъ, которыми можно измѣрять углы составляемые ими съ осью съемки: при съемкѣ цѣпью предпочитаются парныя ординаты и тогда можно обойтись безъ угломѣрныхъ инструментовъ. Положеніе точки D (чер. 4) относительно линіи AE можетъ быть опредѣлено разстояніями ея до двухъ точекъ B и C этой линіи и разстояніемъ BC; опредѣленіе будетъ тѣмъ точнѣе, чѣмъ уголъ BDC ближе подходитъ къ прямому. Имѣя экеръ поступаютъ такъ: становятся съ нимъ въ точку D и посылаютъ поставить два кола на линіи AE, одинъ въ C противъ волоска, другой въ B такъ, чтобъ онъ отразился въ зеркалѣ противъ волоска; затѣмъ надобно измѣрить двѣ линіи BC и BD или CD и триугольникъ BDC можетъ быть построенъ на бумагѣ; измѣреніе третьей стороны полезно для повѣрки прочихъ.



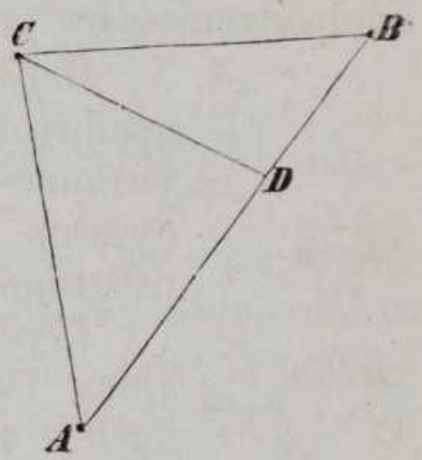
Чер. 4.

При употребленіи экера съ восмью діоптрами, или зеркальнаго экера съ волоскомъ и съ двумя зеркалами одно подъ угломъ въ 45°, а другое подъ угломъ въ $22\frac{1}{2}^0$ или $67\frac{1}{2}^0$ къ визирной линіи, можно избѣжать измѣреній въ сторону отъ линіи, а ограничиться измѣреніями вдоль. Положеніе предмета C при помощи такого экера опредѣляется слѣдующимъ образомъ: съемщикъ идетъ по линіи AB, (Черъ 5) держа экеръ передъ глазомъ; придя точку въ D, онъ увидитъ отраженіе предмета C въ первомъ зеркалѣ противъ волоска, это будетъ значить, что онъ стоитъ въ подошвѣ перпендикуляра, опущеннаго изъ C, тутъ надобно поставить знакъ и идти далѣе, обращая вниманіе на второе зеркало; въ этомъ зеркалѣ предметъ C отразится противъ волоска тогда, когда съемщикъ придетъ въ точку E на линіи CE, составляющей съ AB уголъ въ 45°; эту точку тоже надобно отмѣтить на землѣ. При измѣреніи цѣпью надобно записать положеніе точки D на оси и разстояніе DE, оно равно длинѣ перпендикуляра CD.



Чер. 5.

26. Треугольники. Въ §§ 9 и 12 сказано было, что положеніе точекъ съемки опредѣляется, когда онѣ соединены линіями, образующими сѣть треугольниковъ: за недостаткомъ угломѣрныхъ инструментовъ форма этихъ треугольниковъ можетъ быть опредѣлена величиною сторонъ, которыя измѣряются цѣпью.



Чер. 6.

Чтобы узнать относительное положеніе трехъ точекъ A, B и C, надобно измѣрить всѣ три линіи, которыя ихъ соединяютъ: какъ сказано въ предъидущемъ § точка C опредѣлится тѣмъ точнѣе относительно A, чѣмъ ближе уголъ ACB подходитъ къ прямому; когда въ измѣреніи одной изъ линій AC или BC сдѣлана ошибка, то погрѣшность въ положеніе C будетъ равна первоначальной ошибкѣ; а при всякомъ другомъ углѣ, тупомъ или остромъ, погрѣшность эта болѣе и относится къ величинѣ ошибки такъ, какъ косекансъ угла къ радіусу. При углѣ въ 30° погрѣшность въ двое болѣе противъ ошибки.

Форму треугольника, котораго стороны измѣрены цѣпью, можно провѣрить, измѣряя въ немъ разстояніе отъ вершины однаго изъ угловъ, напримѣръ C до какой нибудь опредѣленной точки D на противулежащей сторонѣ. Послѣ нанесенія треугольника на бумагу повѣрка можетъ быть произведена циркулемъ при помощи масштаба, или можно употребить вычисленіе по формулѣ.

$$CD^2 = \frac{AC^2 . BD + BC^2 . AD}{AB} - AD . BD.$$

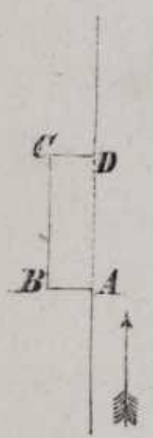
27. Препятствія на основной линіи (Gaps). Длинная основная линія или ось съемки, очень удобная по своему положенію на мѣстѣ, можетъ пересѣкать иногда такіе предметы, которые препятствуютъ не только измѣренію, но даже и провѣшиванію ея; таковы строенія, лѣса, болота, воды и т. д. Эти препятствія легко обходить, когда есть угломѣрные инструменты; но когда у съемщика есть только цѣпь, то это нѣсколько труднѣе. Тутъ можетъ быть три случая:

Первый, когда можно видѣть черезъ препятствіе, но нельзя черезъ него мѣрять, обойти же кругомъ его можно.

Второй, когда нельзя ни видѣть, ни мѣрять черезъ препятствіе, но можно его обойти.

Третій, когда видѣть черезъ препятствіе можно, но мѣрять нельзя ни черезъ него, ни вокругъ.

Во всѣхъ чертежахъ, относящихся къ рѣшенію этихъ вопросовъ, недоступная часть линіи означена точками, а направленіе, въ которомъ идутъ цѣпью, показано стрѣлкой.

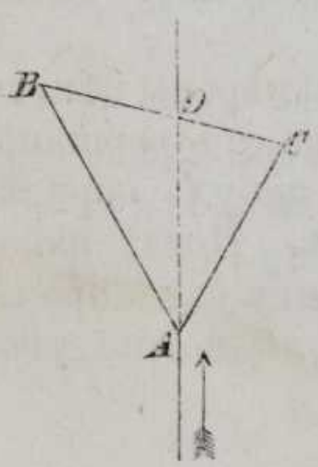


Чер. 7.

Первый случай. Когда можно видѣть черезъ препятствіе, то первымъ дѣйствіемъ должна быть установка вѣхи за препятствіемъ и потомъ задача будетъ состоять въ томъ, чтобы опредѣлить ея разстояніе до послѣдней вѣхи передъ препятствіемъ.

Первый способъ, посредствомъ параллельной линіи (чер. 7). Вѣхи A и D стоятъ на краяхъ препятствія: отъ нихъ экеромъ или другимъ способомъ возставляются перпендикуляры AB и DC, по которымъ надобно отложить равныя разстоянія; длина линіи BC будетъ равна длинѣ AD недоступной части линіи

$$BC = AD \quad (1)$$



Чер. 8.

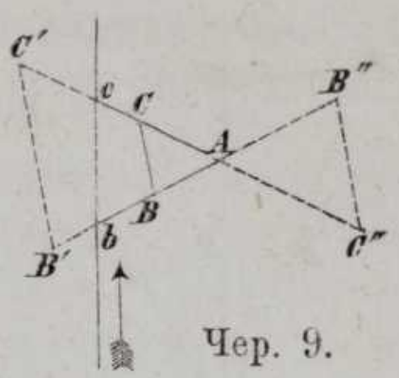
Второй способъ посредствомъ треугольника (чер. 8). A и D находятся у краевъ препятствія, какъ и въ прежнемъ чертежѣ; надобно разбить на мѣстѣ треугольникъ ABC, окружающій препятствіе, сторона его BC должна проходить черезъ точку D, а углы его не должны быть ни слишкомъ острые, ни слишкомъ тупые. Послѣ измѣренія разстояній AB, BD, DC и AC, недоступная часть линіи AD опредѣлится вычисленіемъ по формулѣ

$$AD = \sqrt{\left\{\frac{AB^2 . CD + AC^2 . BD}{BC} - BD . CD\right\}} \quad (2).$$

Можно также рѣшить задачу графически, построивъ въ довольно большомъ масштабѣ треугольникъ ABC по извѣстнымъ тремъ его сторонамъ, и потомъ взять по масштабу длину линіи AD; контуръ или очертаніе препятствія можетъ быть опредѣлено посредствомъ перпендикуляровъ къ сторонамъ треугольника.

Третій способъ посредствомъ двухъ треугольниковъ (чер. 9). Точки у обоихъ краевъ препятствія означены бук-

вами b и c. Изъ произвольной точки A проводятся линіи Ac и Ab, которыя надобно измѣрить и при этомъ замѣтить на нихъ двѣ точки C и B возможно ближе къ препятствію; когда промѣрена будетъ сторона CB триугольнина ABC, то длина недоступной части линіи найдется по формулѣ



Чер. 9.

$$bc = \sqrt{\left\{ Ab^2 + Ac^2 - \frac{Ab \,.\, Ac}{AB \,.\, AC}(AB^2 + AC^2 - BC^2) \right\}} \quad (3).$$

Точки B и C взяты между A и осью; но ихъ можно взять за осью въ B' и C' или на продолженіи линій Ab и Ac въ B'' и C'', формула для опредѣленія bc остается таже.

Вычисленіе будетъ гораздо проще, когда растоянія AB и AC будутъ пропорціональны Ab и Ac, тогда BC параллельна bc и слѣдовательно

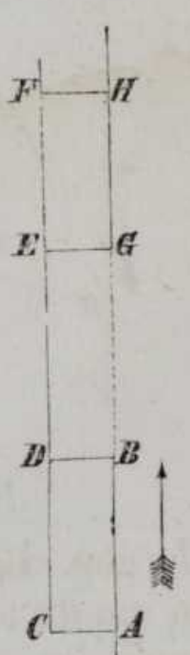
$$bc = BC \frac{Ab}{AB} \ldots\ldots\ldots (4).$$

Вопросъ можетъ быть рѣшенъ и графически.

Второй случай, когда можно обойти препятствіе, но видѣть и мѣрять черезъ него не нельзя.

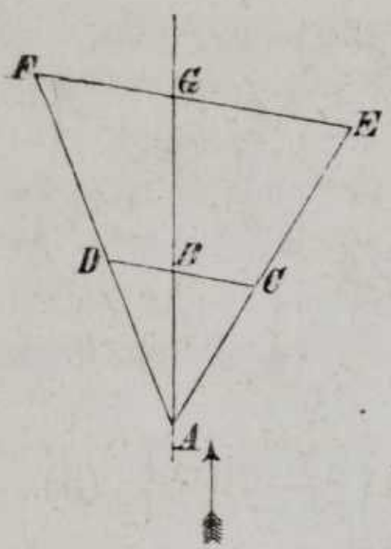
Первый способъ. Параллельною линіею (чер. 10). Въ двухъ точкахъ A и B, взятыхъ на основной линіи не доходя до препятствія, возстановляютъ два перпендикуляра AC и BD равной длины, но такой, чтобы проведенная линія CD миновала препятствіе. Эту линію надобно начать мѣрять отъ точки D и идти съ цѣпью по ней дотѣхъ поръ, пока препятствіе будетъ обойдено, напримѣръ до E; изъ этой точки надобно возставить перпендикуляръ EG, длиною равный BD, продолживъ эту линію еще нѣсколько, возставить новый перпендикуляръ FH тойже длины; GH будетъ продолженіемъ AB и

$$BG = DE \ldots\ldots (5)$$



Чер. 10.

Второй способъ посредствомъ подобныхъ триугольниковъ (чер. 11). Изъ точки A на основной линіи на довольно далекомъ растояніи отъ препятствія, которое начинается въ B, проводятся двѣ расходящіяся линіи AC и AD, которыя минуютъ препятствіе; точки C и D должны быть на одной прямой съ точкою B.



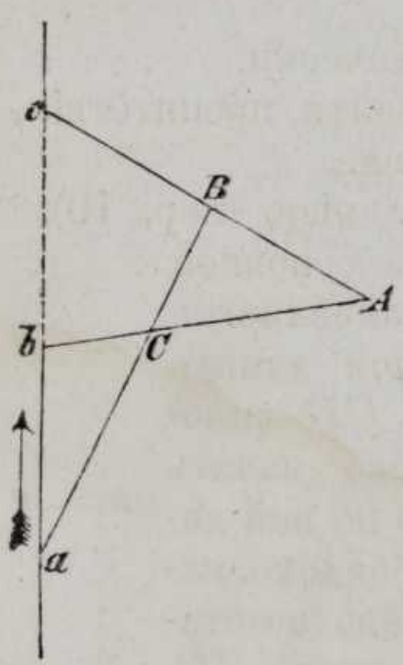
Чер. 11

Измѣривши AC,BC, BD и AD; продолжаютъ провѣшивать AC и AD на разстоянія пропорціональныя длинѣ этихъ линій до точекъ E и F такъ, чтобы вся линія ихъ соединяющая была внѣ препятствія. Точка G на этой линіи и на продолженіи AB должна дѣлить ее на части пропорціональныя CB и BD, а недоступное разстояніе найдется по формулѣ

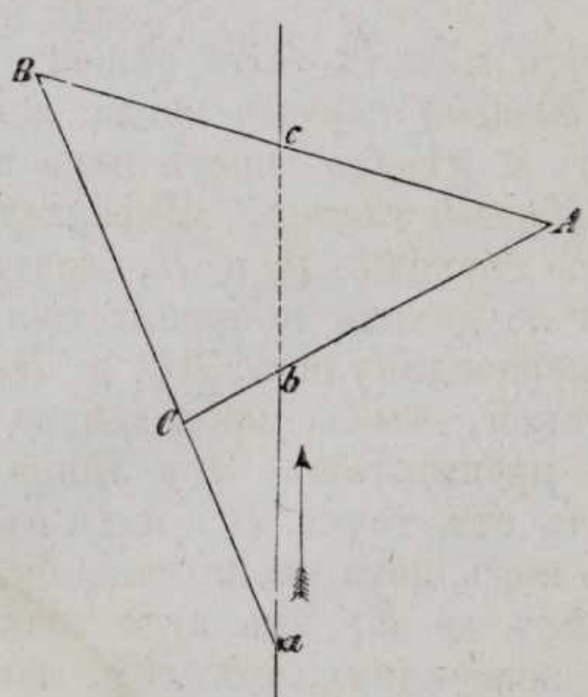
$$BG = \frac{AB \cdot CE}{AC} \ldots\ldots\ldots (6)$$

Окраины препятствія опредѣляются посредствомъ перпендикуляровъ къ сторонамъ четыреугольника $CDEF$.

Третій способъ посредствомъ сѣкущихъ (чер. 12 и 13). На основной линіи, недоходя препятствія, берутся двѣ точки a и b; чрезъ точку C въ сторонѣ отъ основной линіи провѣшиваютъ линіи aC и bC, которыя продолжаются за точку



Чер. 12.



Чер. 13.

C (чер. 12) или первая за точку C, а вторая за b (чер. 13) до такихъ двухъ точекъ B и A, которыя были бы въ одной линіи съ третьей точкой c, находящейся на основной линіи, но уже за препятствіемъ.

Въ иныхъ случаяхъ выгоднѣе начать работу выборомъ точекъ A и B, потомъ уже назначить C и, провѣшивъ линіи BC и AC, найти точки a и b. Всѣ три стороны тругольниковъ ABC и abC должны быть обмѣрены.

Разстояніе отъ B до c, если эта послѣдняя точка на продолженіи линіи AB (чер. 12) найдется по формулѣ

$$Bc = \frac{AB.\ ab\ .\ bC}{Ca\ .\ Ab\ -\ aB.\ bC} \quad \ldots\ldots\ldots\ (7)$$

А если c находится между A и B (чер. 13) то

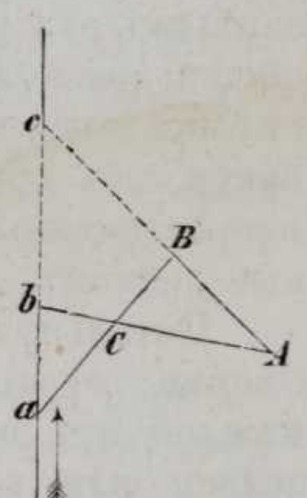
$$Bc = \frac{AB.\ ab\ .\ bC}{Ca\ .\ Ab\ +\ aB.\ bC} \quad \ldots\ldots\ldots\ (7\ A)$$

Наконецъ для опредѣленія неприступнаго разстоянія bc можетъ служить выраженіе, одинакое для обоихъ случаевъ

$$bc = \frac{ab.\ AB.\ BC}{Ca\ .\ aB\ -\ Ab\ .\ BC} \quad \ldots\ldots\ldots\ (8)$$

Вопросъ этотъ можетъ быть рѣшаемъ графически нанесеніемъ на бумагу въ большомъ масштабѣ треугольниковъ abC и CAB, точка c будетъ на пересѣченіи линіи AB съ продолженной ab. Въ смыслѣ математическомъ нѣтъ надобности измѣрять обѣ линіи ab и AB, довольно измѣрить одну изъ нихъ, другая опредѣлится по формулѣ подобной (3); но надобно для повѣрки произвести и измѣреніе и вычисленіе.

Третій случай. Когда можно видѣть черезъ препятствіе, но ни пройти черезъ чего, ни обойти его нельзя; это случается при пересѣченіи основной линіи глубокимъ оврагомъ или быстрою и широкого рѣкою.



Чер. 14.

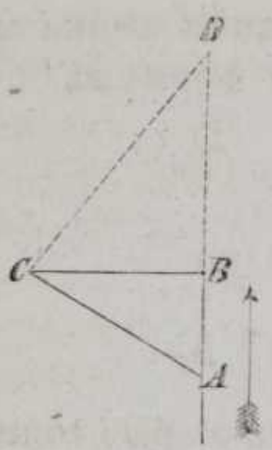
Первое дѣйствіе, какъ и въ первомъ случаѣ, должно состоять въ установкѣ вѣхи c на продолженіи линіи ab за препятствіемъ (чер. 14).

Первый способъ посредствомъ сѣкущихъ. Не доходя препятствія надобно выбрать двѣ точки A и B въ одной прямой съ c, провести черезъ нихъ двѣ прямыя линіи Ab и Ba, которыя въ точкѣ своего пересѣченія C образовали бы уголъ больній 30^0, за тѣмъ промѣрить всѣ три стороны каждаго изъ треугольниковъ abC и ABC; неприступное разстояніе опредѣлится по формулѣ (8). Для повѣрки можно вычислить Bc по формулѣ (7).

Задача можетъ быть тоже рѣшена чертежомъ на бумагѣ.*)

---

*) Предлагаемыя здѣсь рѣшенія задачъ помощію сѣкущихъ



Чер. 15.

Второй способъ перпендикулярами, когда неприступное разстояніе не болѣе 30 сажень.

Вѣха D (чер. 15) находится за препятствіемъ на продолженіи основной линіи AB; въ B возставляютъ экеромъ перпендикуляръ BC; въ произвольно взятой на немъ точкѣ C, только такъ чтобъ уголъ DCB былъ не болѣе 60^0, возставляютъ перпендикуляръ CA къ линіи CD; по измѣреніи разстояній BC и BA, неприступное разстояніе опредѣляется по формулѣ

$$BD = \frac{BC^2}{AB} \ldots\ldots\ldots (9).$$

Объ измѣреніи неприступныхъ разстояній при помощи угломѣрныхъ инструментовъ будетъ говорено въ Главѣ III.

28. **Полевой журналъ.** Записываніе и набрасываніе чертежей отъ руки или составленіе брульоновъ въ полевомъ журналѣ или журналѣ съемки (Fieldbook) дѣлается или чернилами или нестираемымъ карандашемъ; чернила предпочитаются карандашу, когда есть возможность сберечь журналъ отъ дождя.

Полевой журналъ съемки долженъ начинаться сдѣланнымъ отъ руки чертежомъ, на которомъ видно было бы общее расположеніе становъ и основной линіи или оси съемки относительно замѣчательнѣйшихъ предметовъ мѣстности, объ которыхъ говорено въ § 12 въ статьѣ a. Станы второстепенные означаются цифрами или буквами, а главные знакомъ $\triangle$.

Остальную часть журнала будетъ занимать подробная съемка; страницы ея номеруются съ конца; по срединѣ каждой изъ нихъ проводятся вдоль двѣ черты, образующія полосу или графу такой ширины, чтобы въ ней можно было писать числа о четырехъ цифрахъ: графа эта представляетъ ось съемки. Для того чтобы лѣвая сторона чертежа соотвѣтствовала лѣвой сторонѣ линіи, записываніе въ журналѣ должно идти отъ низа къ верху.

взяты изъ сочиненія Карно: Теорія трансверсальныхъ линій или сѣкущихъ, которое къ сожалѣнію очень мало извѣстно, не смотря на простоту и приложимость изложенныхъ тамъ началъ. Вычисленіе по формулѣ (7) при числахъ объ четырехъ знакахъ требуетъ неболѣе пяти минутъ.

Съемщикъ начинаетъ работу измѣренія линіи тѣмъ, что внизу первой страницы по срединѣ графы ставитъ букву или знакъ, соотвѣствующій тому стану, отъ котораго онъ начинаетъ съемку и приписываетъ куда онъ идетъ, напримѣръ такъ *отъ A къ B*. По мѣрѣ измѣренія линіи онъ записываетъ въ графѣ тѣ разстоянія, на которыхъ линія встрѣчаетъ разные предметы мѣстности, и на которыхъ находятся второстепенные станы этой линіи, а также подошвы возставляемыхъ перпендикуляровъ. Разстоянія соотвѣтствующія второстепеннымъ станамъ и записываемыя въ графѣ, обводятся кружками и рядомъ записывается названіе стана и ссылка на страницы журнала, гдѣ объ этомъ станѣ упоминается, названіе линій проходящихъ чрезъ этотъ станъ и положеніе его на этихъ линіяхъ. Направо и налѣво отъ графы записываются длины перпендикуляровъ, возставленныхъ вправо и въ лѣво отъ основной линіи, противъ того мѣста, гдѣ въ графѣ записано разстояніе подошвы перпендикуляра отъ начальной точки оси; въ концѣ перпендикуляровъ чертится форма предметовъ, къ которымъ они проведены, или ихъ названія; разныя замѣчанія тутъ же записываются.

Дойдя до поворота основной линіи или до новаго стана перваго разряда, надобно начать новую страницу, сдѣлавши на нее сылку словами или знаками; новую прямую часть основной линіи надобно начать описаніемъ стана, отъ котораго она идетъ, и ссылкою на прежнюю страницу.

Наклонныя ординаты, малые триугольники, строенія и т. п. вычерчиваются отъ руки въ журналѣ сходно съ дѣйствительностью, и длина промѣренныхъ линій записывается на чертежѣ вдоль этихъ линій.

Тутъ изложены общія правила, какъ вести полевой журналъ, подробности зависятъ отъ мѣстности: можно совѣтывать каждому съемщику вести свой журналъ такъ четко и систематически, чтобы чертежникъ могъ составить по немъ планъ, не требуя словесныхъ объясненій отъ съемщика.

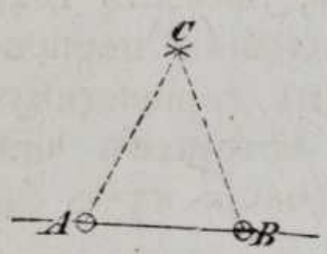
29. **Нанесеніе на бумагу съемки цѣпью.** При нанесеніи на бумагу должно обращать большое вниманіе на то, чтобы доска или столъ, на который кладется чертежная бумага, были совершенно плоскія и чтобы линейка имѣла правильный, прямой край. Если предполагается наклеить планъ на холстъ, то наклеиваніе должно быть сдѣлано прежде составле-

нія плана; наклеивать бумагу на доску со смачиваніемъ ея и вытягиваніемъ также не хорошо, потому что, когда бумага будетъ срѣзана или снята съ доски, то она сожмется я притомъ неравномѣрно во всѣхъ направленіяхъ.

Работа каждаго дня должна быть наносима на бумагу тотчасъ послѣ ея окончанія.

На бумагѣ прежде всего вычерчивается масштабъ, чтобъ онъ могъ измѣняться съ вытягиваніемъ и сжатіемъ бумаги, потомъ назначается иглою или копировкой начальная точка и проводится по линейкѣ первая прямая часть основной линіи, по ней откладываются разстоянія отъ начальнаго пункта до второстепенныхъ становъ, подошвъ перпендикуляровъ и т. д. За тѣмъ слѣдуютъ нанесеніе перпендикуляровъ и ординатъ

30. **Нанесеніе треугольниковъ.** Сначала наносятся на бумагу большіе треугольники, которыхъ стороны соединяютъ главные станы, потомъ второстепенные треугольники. Нанесеніе треугольника на бумагу по измѣреннымъ тремъ его сторонамъ производится слѣдующимъ образомъ: A и B на чер. 16 представляютъ два стана, назначенные уже на бумагѣ, нужно назначить третій по извѣстнымъ его разстояніямъ AC и BC отъ первыхъ двухъ. Взявъ каждое изъ этихъ разстояній въ циркуль по масштабу, надобно описать ими, какъ радіусами, дуги, которыхъ пересѣченіе будетъ точка C на планѣ, потомъ надобно провесть по линейкѣ стороны AC и BC и треугольникъ будетъ построенъ.



Чер. 16

Для отличія основныхъ съемочныхъ линій отъ другихъ принято проводить ихъ красною краскою: нѣкоторые дѣлаютъ это также и для тѣхъ линій, по которымъ вычисляются площади.

Когда планъ мѣстности по обширности ея наносится на нѣсколькихъ листахъ, то на каждомъ новомъ листѣ надобно назначить часть основной линіи, помѣщенной на предъидущемъ листѣ; два послѣдовательные листа должны содержать непремѣнно каждый по крайней мѣрѣ одинъ и тотъ же главный станъ.

31. **Нанесеніе перпендикуляровъ, разстояній и подробностей.** Для этаго полезно имѣть линейку, на скошенномъ краю которой назначены дѣленія, такія линейки изъ слоновой кости или твердаго дерева бываютъ иногда въ го-

товальняхъ; эта линейка кладется вдоль оси съемки началомъ дѣленій у начальнаго стана: другая линейка такого же рода, но обрѣзанная у концовъ непремѣнно въ направленіи перпендикулярномъ къ продольному краю ея, на которомъ означены дѣленія, кладется на бумагу, концомъ плотно къ краю первой линейки. Вторая линейка скользитъ по первой и край ея сохраняетъ всегда положеніе перпендикулярное къ оси съемки; ее ставятъ противъ дѣленій первой линейки, соотвѣтствующихъ разстояніямъ подошвъ перпендикуляровъ и отмѣчаютъ по ней на бумагѣ точки противъ дѣленій, соотвѣтствующихъ длинѣ перпендикуляровъ. Наклонныя ординаты наносятся подобно треугольникамъ.

На межевыхъ планахъ каждаго рода межи отмѣчаются соотвѣтственными знаками, въ планахъ инженерныхъ довольно отличать ограды отъ простыхъ межей, тѣмъ что первыя назначать сплошными, а вторыя пунктирными линіями. Строенія штрихуются діагонально, дороги означаются двумя параллельными линіями, представляющими ея края, желѣзная дорога означается тоже двумя параллельными толстыми линіями, означающими рельсы и перекрещиваемыми тонкими чертами въ родѣ поперечинъ. Каналы отличаются отъ рѣкъ правильностью направленія и постоянною шириною. Деревья и лѣса показываются малыми фигурами, имѣющими сходство съ деревями.

На поляхъ можно надписывать номера или буквы и въ объясненіи плана указать кому принадлежитъ земля и какого она рода.

32. Опредѣленіе площадей. Есть три способа измѣренія площадей; посредствомъ треугольниковъ, ординатъ или планиметромъ.

I. *Способъ треугольниковъ.* Если буквами a, b, c означить длину сторонъ треугольника, а буквою s длину ихъ полусуммы, то площадь треугольника равна

$$S = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad \ldots\ldots\ldots (1.)$$

или употребляя логариѳмы

$$\log. S = \frac{1}{2}\left\{\log. s + \log.(s-a) + \log.(s-b) + \log.(s-c)\right\} \quad (2.)$$

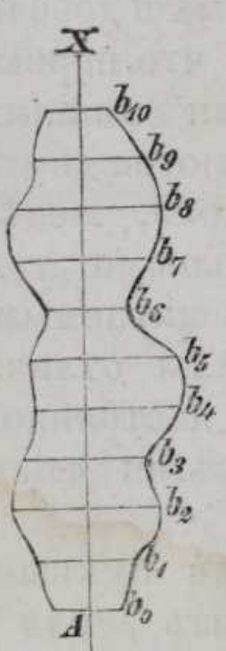
Можно употребить другое вычисленіе: если a есть длина одной изъ сторонъ треугольника, а p длина пер-

пендикуляра, опущеннаго на нее отъ вершины противолежащаго угла, то

$$S = \frac{ap}{2} \ldots\ldots\ldots (3.)$$

Всякую фигуру, ограниченную прямыми линіями можно разбить на триугольники, опредѣлить площадь каждаго триугольника и сложить вмѣстѣ.

Для опредѣленія площади криволинейной фигуры, надобно сперва замѣнить кривое ея очертаніе ломанымъ, состоящимъ изъ прямыхъ линій, частью входяшихъ внутрь фигуры, частью выходящихъ изъ нее, но такъ, чтобы на глазъ площадь осталась таже (equalizing); за тѣмъ полученную прямолинейную фигуру разбить на триугольники и сложить площади этихъ триугольниковъ.



Чер. 17.

II. *Способъ ординатъ* прилагается къ длинному участку измѣняющейся ширины, какъ это случается при опредѣленіи количества земли, отходящаго подъ желѣзную дорогу. На чер. 17 представленъ подобный участокъ; вдоль его на планѣ проводится прямая AX, по которой откладываютъ небольшія короткія разстоянія и чрезь каждую точку дѣленія проводятъ прямую перпендикулярную къ средней линіи. Длину каждаго изъ этихъ перпендикуляровъ надобно измѣрить по масштабу; пусть эти длины будутъ b_0, b_1, b_2 и т. д. а d пусть означаетъ разстояніе между ними; площадь между двумя перпендикулярами b и b', если принять части кривой линіи между ними за прямыя, выразится чрезъ

$$\frac{b + b'}{2} d.$$

А площадь всей фигуры состоящая изъ многихъ малыхъ площадей этой формы, будетъ

$$S = \Sigma\left(\frac{b + b'}{2} d\right) \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Σ есть знакъ суммы.

Если перпендикуляры проведены были на равныхъ разстояніяхъ, то

$$S = \left(\frac{b_0}{2} + b_1 + b_2 + \ldots \frac{b^n}{2}\right) d. \ldots\ldots\ldots (5.)$$

здѣсь b^0 и b^n означаютъ ширину участка у краевъ, а b_1, b_2 въ среднихъ частяхъ.

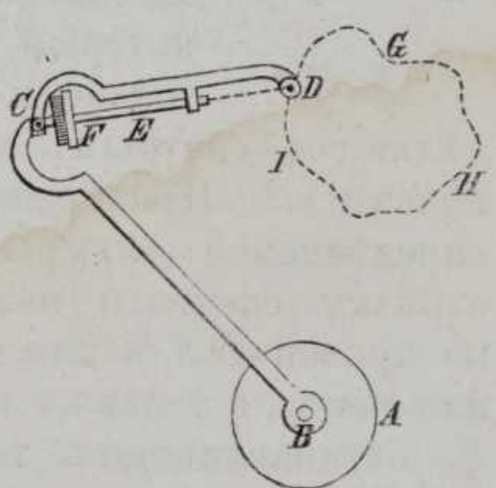
Когда кривыя, ограничивающія данную фигуру, будутъ приняты за состоящія не изъ прямыхъ линій и изъ параболическихъ дугъ, то при четномъ числѣ частей

$$S = \left\{b_0 + b_n + 2\,(b_2 + b_4 + \ldots) + 4\,(b_1 + b_3 + \ldots\right\}\frac{d}{3} \ldots (6.)$$

Вѣрнѣе всего опредѣлится площадь фигуры, если размѣры будутъ взяты изъ полеваго журнала, а не съ плана по масштабу; для треугольниковъ будутъ служить формулы (1) и (2), и для частей между двумя перпендикулярами формулы (4), разумѣя подъ буквами b и b' длины перпендикуляровъ, а подъ буквою d разстояніе между ними; но это вычисленіе продолжительно.

III. *Посредствомъ Планиметра*, инструмента для измѣренія площадей механическимъ образомъ. Въ послѣднее время придумано много такихъ инструментовъ болѣе или менѣе точныхъ.

Для фигуръ, ограниченныхъ со всѣхъ сторонъ кривыми линіями и имѣющихъ форму, подходящую къ кругу, эллипсу, хотябы и со входящими частями удобно употреблять планиметръ Амслера.

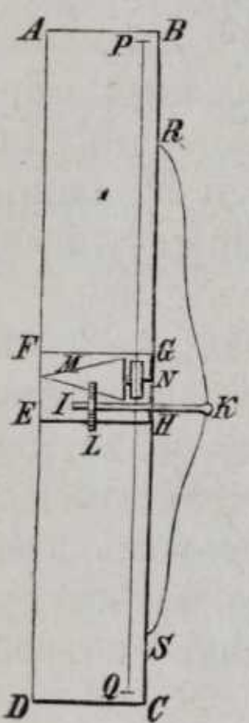


Чер. 18.

На чер. 18 A есть круглая тяжелая гиря, которая кладется на столъ и поддерживаетъ инструментъ; въ центрѣ его есть углубленіе, въ которое упирается ось вращенія B всего планиметра; два рычага BC и CD связаны въ точкѣ C на шарнирѣ, конецъ B перваго насаживается на ось вращенія; въ концѣ D втораго находится копировка, тупой штифтъ, который можно вести свободно по всей кривой линіи, ограничивающей искомую площадь; при рычагѣ CD есть ось E съ надѣтымъ на нее колесомъ F, которое касается бумаги и на окружности котораго есть 100 дѣленій, десятыя части дѣленій опредѣляются посредсвомъ ноніуса.

Послѣ установки планиметра въ томъ положеніи, какое показано на чертежѣ, приводится О дѣленій колеса противъ нуля ноніуса или указателя; копировкой D ведутъ по

криволинейной границѣ площади $DGHI$ и потомъ считаютъ число окружностей, пройденныхъ колесомъ при вращеніи, число дѣленій и ихъ частей по ноніусу; произведеніе этихъ чиселъ на длину рычага CD и на длину обода колеса есть площадь фигуры. Для счета окружностей есть при инструментѣ стрѣлка, которая ходитъ по циферблату и приводится въ движеніе безконечнымъ винтомъ на оси E и зубчатою шестернею; на чертежѣ этотъ механизмъ не показанъ.



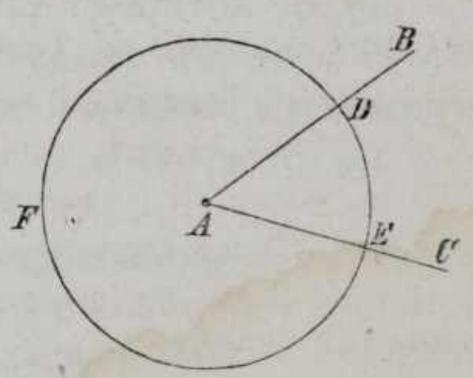
Чер. 18 а.

Для площадей, ограниченныхъ съ одной стороны длиною прямою линіею, а съ другой кривою, которая не далеко онъ нее отходить, какова площадь RKS на чер. 18 а, удобнѣе планиметръ Эрнста. Онъ состоитъ изъ линейки $ABCD$ съ рельсами, по которымъ движется на каткахъ тележка $EFGH$; при тележкѣ есть выдвижной рычагъ IK съ копировкой къ концѣ K и колесомъ L у другаго конца; на тележкѣ помѣщенъ вращающійся на наклонной оси конусъ M съ блокомъ N, черезъ который переходитъ туго натянутая струна, укрѣпленная на концахъ линейки въ точкахъ P и Q. Когда тележка идетъ вдоль линейки, тогда струна заставтяетъ вертѣться блокъ N и конусъ M, который всегда касается колеса L, слѣдовательно и оно вертится, обороты же его опредѣляются счетнымъ механизмомъ, который на чертежѣ не показанъ. Приложивъ линейку къ прямой сторонѣ RS опредѣляемой фигуры, ставятъ копировку на точку R, а стрѣлку счетнаго механизма на нуль. Копировку ведутъ по кривой RS и для этаго выдвигаютъ рычагъ KI болѣе или менѣе, а тележку катятъ вдоль линейки; дойдя до точки S, останавливаютъ тележку и читаютъ показаніе стрѣлки, это будетъ площадь фигуры.

ГЛАВА III.

СЪЕМКА УГЛОМѢРНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ.

33. Тригонометрическія формулы. I. *Отношеніе между углами и дугами.* Величина *угла* двухъ линій AB и AC, (чер. 19.) пересѣкающихся въ точкѣ A, или величина ихъ наклоненія выражается числомъ частей прямаго угла, которыя заключаются въ измѣряемомъ углѣ: прямой уголъ дѣлится на девяносто частей, называемыхъ *градусами*, градусъ на шестьдесятъ *минутъ*, минута на шестьдесятъ *секундъ*, болѣе мелкія части выражаются десятичными долями секунды. Такое выраженіе величины угла, весьма удобное для тригонометрическихъ вычисленій, можно объяснить еще иначе: если изъ вершины угла, взятой за центръ, описать окружность DEF, которую раздѣлить на 360 равныхъ частей и назвать ихъ градусами, каждую дугу величиною въ одинъ градусъ раздѣлить на шестьдесятъ минутъ, минуту на шестьдесятъ секундъ и т. д. то величина угла можетъ быть выражена числомъ градусовъ, минутъ и секундъ, заключающихся въ дугѣ DE между сторонами этаго угла.



Чер. 19.

Другой способъ выражать величину угла состоитъ въ томъ, что означаютъ отношеніе спрямленой дуги DE къ радіусу AD: это проще, но въ приложеніяхъ мало употребительно.

Переходъ отъ однаго способа выражать величину угла

къ другому производится по извѣстному отношенію окружности круга къ его діаметру; величина этаго отношенія въ точности не извѣстна, хотя и вычислена до 250 десятичныхъ знаковъ, въ приложеніяхъ не нужно употреблять болѣе семи знаковъ. Отношенія дугъ круга къ радіусу его суть слѣдующія

		log.
Длина всей окружности и поверхность полушара	$2\pi = 6.2831853;$	0.7981799
Длина полуокружности и площадь круга	$\pi = 3.14159265;$	0.4971499
Длина дуги соотвѣтствующей прямому углу	$\frac{\pi}{2} = 1.57079632;$	0.1961199
Длина дуги величиною въ одинъ градусъ	$\frac{\pi}{180} = 0.01745329;$	8.2418774
Длина дуги величиною въ одну минуту	$\frac{\pi}{10800.} = 0.0002908882;$	6.4637261
Длина дуги величиною въ одну секунду . . .	$\frac{\pi}{648000.} = 0.000004848137;$	4.6855749

Дуга которой длина равна радіусу, содержитъ 57°, $17'$, $44''$, 8; въ градусахъ, минутахъ или секундахъ она выражается числами, которыхъ, логариѳмы сутъ:

$$\log. 57^{\circ}.2957795 = 1.7581226; \quad \log. 3437{\cdot}747 = 3.5362739;$$
$$\log. 206264''.8 = 5.3144251$$

Дуга эта составляетъ часть окружности, которая выражается дробью $\frac{1}{2\pi}$

$$\log. \frac{1}{2\pi} = \log. 0.1591549 = 9.2018201.$$

При логариѳмахъ этихъ поставлены тѣ характеристики, которыя употребляются при тригонометрическихъ вычисленіяхъ для избѣжанія отрицательныхъ чиселъ т. е. вмѣсто отрицательнаго числа ставится дополненіе его до 10; и такъ это логариѳмы не самихъ дробей, а ихъ произведеній на 10^{10} или 10,000,000,000.

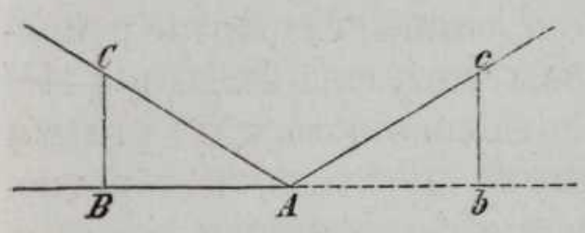
Десятичное дѣленіе четверти окружности на 100 градусовъ, на 10000 минутъ или на 1000000 секундъ, предложенное въ концѣ прошлаго столѣтія, ни гдѣ теперь не употребляется.

II. *Отношеніе между тригонометрическими функціями угла.* Проще всего выразить тригонометрическую функ-

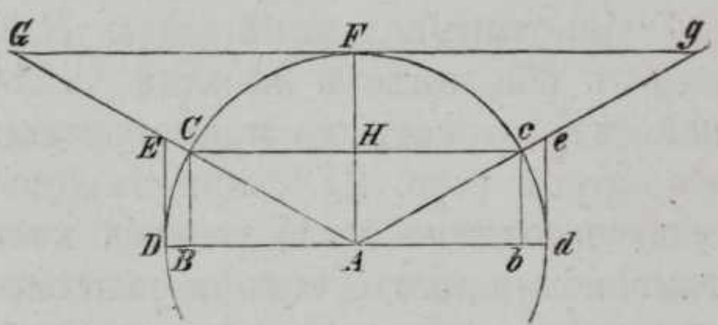
цію какого нибудь угла отношеніемъ между сторонами прямоугольнаго триугольника, содержащаго этотъ уголъ; но болѣе употребительно представленіе ихъ прямыми линіями, имѣющими разныя положенія относительно дуги, которая соотвѣтствуетъ этому углу и описана радіусомъ, взятымъ за единицу длины.

Двѣ линіи AB и AC въ чер. 20 и 21, пересѣкаясь въ точкѣ A, образуютъ острый уголъ BAC.

Если изъ точки C (чер. 20.) произвольно взятой на одной изъ сторонъ этаго угла опустить перпендилуляръ CB на другую сторону, то образуется прямоугольный триугольникъ ABC.



Чер. 20.



Чер. 21.

Въ чер. 21 изъ точки A, принятой за центръ, описывается окружность радіусомъ равнымъ единицѣ длины.

$$AD = AC = 1.$$

AF есть третій радіусъ, перпендикулярный къ AD; CB и CH суть перпендикуляры, опущенные изъ точки C на радіусы AD и AF; DE и FG касательны къ окружности въ точкахъ D и F, онѣ также перпендикулярны къ радіусамъ AD и AF и пересѣкаютъ вторую сторону AC даннаго угла въ точкахъ E и G.

Различныя тригонометрическія функціи угла BAC выражаются отношеніями сторонъ прямоугольнаго триугольника или прямыми линіями въ кругѣ слѣдующимъ образомъ:

	въ триугольникѣ	въ кругѣ
Синусъ (sin.)	$\frac{BC}{AC}$	. . . . . $BC = AH$
Косинусъ (cos.)	$\frac{AB}{AC}$	. . . . . $AB = CH$
Обратный синусъ (sin. vers.) .	$\frac{AC - AB}{AC}$	. . . . BD

	въ треугольникѣ	въ кругѣ
Обратный косинусъ (cos. vers.)	$\frac{AC-BC}{AC}$	HF
Тангенсъ (tang.)	$\frac{BC}{AB}$	DE
Котангенсъ (cotg.)	$\frac{AB}{BC}$	FG
Секансъ (sec.)	$\frac{AC}{AB}$	AE
Косекансъ (cosc.)	$\frac{AC}{BC}$	AG

Въ треугольникѣ углы BAC и BCA (чер. 20.) составляютъ оба вмѣстѣ прямой уголъ и одинъ служитъ пополненіемъ другаго до прямаго; таковы же углы BAC и FAC въ кругѣ (чер. 21.); при такомъ отношеніи между углами синусъ однаго угла равенъ косинусу другаго, и обратно, тангенсъ однаго есть котангенсъ другаго, также точно и для всѣхъ парныхъ тригонометрическихъ функцій.

Если означить для краткости уголъ BAC буквою A, то главнѣйшія отношенія тригонометрическихъ функцій выразятся слѣдующими уравненіями

$$\text{Sin A} = \sqrt{1-\cos^2 A} = \frac{\text{tang A}}{\text{sec A}} = \frac{1}{\text{cosc A}} \quad \ldots (1.)$$

$$\cos A = \sqrt{1-\sin^2 A} = \frac{\text{cotg A}}{\text{cosc A}} = \frac{1}{\text{sec A}} \quad \ldots (2.)$$

$$\sin \text{ vers } A = 1 - \cos A \quad \ldots (3.)$$

$$\cos \text{ vers } A = 1 - \sin A \quad \ldots (4.)$$

$$\text{tang A} = \frac{\sin A}{\cos A} = \frac{1}{\text{cotg A}} = \sin A \sec A = \sqrt{\sec^2 A - 1} \quad \ldots (5)$$

$$\text{cotg A} = \frac{\cos A}{\sin A} = \frac{1}{\text{tang A}} = \cos A \operatorname{cosec} A = \sqrt{\operatorname{cosc}^2 A - 1} \quad (6)$$

$$\sec A = \frac{1}{\cos A} = \sqrt{1+\text{tg}^2 A} \quad \ldots (7.)$$

$$\text{cosc A} = \frac{1}{\sin A} = \sqrt{1+\text{cotg}^2 A} \quad \ldots (8.)$$

Тригонометрическія функціи тупаго угла опредѣляются слѣдующимъ образомъ: проведемъ линію Ac, которая съ

продолженіемъ BA составляетъ уголъ bAc, равный углу BAC, тогда уголъ BAc будетъ дополненіемъ угла BAC т. е. оба вмѣстѣ равны двумъ прямымъ угламъ, или

$$\angle \text{BAc} = 180^0 - \text{A}.$$

Изъ точки c надобно опустить перпендикуляръ cb на Ab, а въ чер. 21, кромѣ того, продолжить CH до c, GF до g и провести касательную de.

Триугольникъ Abc въ чер. 20 подобенъ ABC; въ чер. 21 расположеніе линій съ правой стороны радіуса AF совершенно одинаково съ линіями лѣвой стороны и соотвѣтственныя линіи равны: изъ этаго слѣдуетъ, что всѣ тригонометрическія функціи тупаго угла равны *по величинѣ* тѣмъ же тригонометрическимъ функціямъ дополнительнаго угла, кромѣ обратнаго синуса который въ чер. 21 представляется для тупаго угла линіею Db, а она равна $AD + Ab$ или $2\,AD - DB$.

Для того, чтобы отличать тригонометрическія функціи тупаго и остраго угла принято правиломъ ставить разные знаки передъ линіями, которыя какъ AB и Ab находятся по разные стороны точки A: т. е. принявъ линію AB положительною, надобно считать Ab отрицательною; изъ чего выводится правило, что *косинусы тупыхъ угловъ имѣютъ отрицательный знакъ*, на основаніе этаго правила получаются отношенія между тригонометрическими линіями тупаго угла $180 - \text{A}$ и его дополненія A.

$$\left.\begin{array}{l}
\sin 180 - \text{A} = \sin \text{A} \\
\cos 180 - \text{A} = -\cos \text{A} \\
\text{sin ver } 180 - \text{A} = 1 + \cos \text{A} = 2 - \text{sin ver A} \\
\text{cos ver } 180 - \text{A} = \text{cos ver A} \\
\text{tang } 180 - \text{A} = -\text{tang A} \\
\text{cotang } 180 - \text{A} = -\text{cotang A} \\
\sec 180 - \text{A} = -\sec \text{A} \\
\text{cosec } 180 - \text{A} = \text{cosec A}.
\end{array}\right\} \quad (9.)$$

Уравненія эти показываютъ что въ приложеніи къ тупымъ угламъ формулъ (1 — 8), относящихся къ угламъ острымъ, синусы и косекансы остаются съ тѣми же знаками, а всѣ остальныя линіи перемѣняютъ положительный знакъ на отрицательный, численная же величина остается таже самая, кромѣ обратнаго синуса, который для тупаго угла

равенъ разности между діаметромъ и обратнымъ синусомъ остраго угла.

Знакъ синуса измѣняется изъ положительнаго въ отрицательный только тогда, когда онъ переходитъ по другую сторону діаметра AB, т. е. когда уголъ содержитъ болѣе 180^o, сообразно съ этимъ измѣняются знаки другихъ тригонометрическихъ функцій.

$$\left.\begin{array}{l}\sin 180 + A = -\sin A,\ \cos 180 + A = -\cos A,\\ \text{tang}\, 180 + A = \text{tang}\, A,\ \text{cotg}\, 180 + A = \text{cotg}\, A.\end{array}\right\} \quad (9\,a.)$$

$$\left.\begin{array}{l}\sin 360 - A = -\sin A,\ \cos 360 - A = \cos A,\\ \text{tang}\, 360 - A = -\text{tg}\, A,\ \text{cotg}\, 360 - A = -\text{ctg}\, A.\end{array}\right\} \quad (9\,b.)$$

III. *Тригонометрическія функціи угловъ двойныхъ, половинныхъ, суммы и разности угловъ.*

$$\sin A = 2\sin\frac{A}{2}\cos\frac{A}{2} = \frac{2}{\text{cotg}\,\frac{A}{2} + \text{tg}\,\frac{A}{2}} = \sqrt{\frac{1-\cos 2A}{2}} \quad (10)$$

$$\left.\begin{array}{l}\cos A = \cos^2\frac{A}{2} - \sin^2\frac{A}{2} = 1 - 2\sin^2\frac{A}{2} = 2\cos^2\frac{A}{2} - 1 =\\ \dfrac{\text{cotg}\,\frac{A}{2} - \text{tg}\,\frac{A}{2}}{\text{cotg}\,\frac{A}{2} + \text{tg}\,\frac{A}{2}} = \sqrt{\dfrac{1+\cos 2A}{2}}\end{array}\right\} \quad (11)$$

$$\left.\begin{array}{l}\text{tang}\, A = \dfrac{2}{\text{cotg}\,\frac{A}{2} - \text{tg}\,\frac{A}{2}} = \sqrt{\dfrac{1-\cos 2A}{1+\cos 2A}} =\\ \dfrac{\sin 2A}{1+\cos 2A} = \dfrac{1-\cos 2A}{\sin 2A}\end{array}\right\} \quad (12.)$$

$$\sin\,(A+B) = \sin A\ \cos B + \cos A \sin B. \ldots (13.)$$

$$\sin\,(A-B) = \sin A\ \cos B - \cos A \sin B. \ldots (14.)$$

$$\cos\,(A+B) = \cos A\ \cos B - \sin A \sin B. \ldots (15.)$$

$$\cos\,(A-B) = \cos A\ \cos B + \sin A \sin B. \ldots (16.)$$

$$\text{tang}\,(A+B) = \frac{\text{tang}\, A + \text{tang}\, B}{1 - \text{tang}\, A\, \text{tang}\, B} \ldots\ldots (17.)$$

$$\text{tang}\,(A-B) = \frac{\text{tang}\, A - \text{tang}\, B}{1 + \text{tang}\, A\, \text{tang}\, B} \ldots\ldots (18.)$$

$$\sin A + \sin B = 2 \sin \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2} \quad \ldots\ldots (19.)$$

$$\sin A - \sin B = 2 \sin \frac{A-B}{2} \cos \frac{A+B}{2} \quad \ldots\ldots (20.)$$

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2} \quad \ldots\ldots (21.)$$

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

$$\text{tang } A + \text{tang } B = \frac{\sin (A+B)}{\cos A \cos B} \quad \ldots\ldots (23.)$$

$$\text{tang } A - \text{tang } B = \frac{\sin (A-B)}{\cos A \cos B} \quad \ldots\ldots (24.)$$

$$\text{cotg } A + \text{cotg } B = \frac{\sin (A+B)}{\sin A \,.\, \sin B} \quad \ldots\ldots (25.)$$

$$\text{cotg } B - \text{cotg } A = \frac{\sin (A-B)}{\sin A \sin B} \quad \ldots\ldots (26.)$$

$$\sin^2 A - \sin^2 B = \cos^2 B - \cos^2 A = \sin (A-B) \times \sin (A+B) \quad \ldots\ldots (27.)$$

$$\cos^2 A - \sin^2 B = \cos^2 B - \sin^2 A = \cos (A-B) \times \cos (A+B) \quad \ldots\ldots (28.)$$

$$\text{tang}^2 A - \text{tang}^2 B = \frac{\sin (A+B) \sin (A-B)}{\cos^2 A \cos^2 B} \quad \ldots\ldots (29.)$$

$$\text{cotg}^2 B - \text{cotg}^2 A = \frac{\sin (A-B) \sin (A+B)}{\sin^2 A \sin^2 B} \quad \ldots\ldots (30.)$$

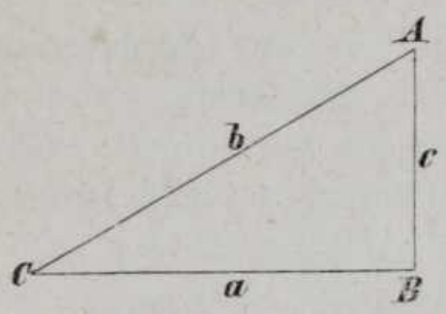
IV. *Рѣшеніе треугольниковъ.* Всѣ формулы плоской тригонометріи, которыя служатъ для рѣшенія треугольниковъ выводятся изъ слѣдующихъ двухъ законовъ:

Сумма трехъ угловъ прямолинейкаго треугольника равна двумъ прямымъ.

Стороны треугольника пропорціональны синусамъ противолежащихъ имъ угловъ.

Когда вычисленія производятся безъ логариѳмовъ, то формулы выбираются самыя простыя, но при логариѳмахъ надобно иногда прибѣгать къ такимъ формуламъ, которыя кажутся сложнѣе: онѣ бываютъ удобнѣе, потому что содер-

жать только умноженія и дѣленія, а ни сложеніе ни вычитаніе въ нихъ не входятъ.



Чер. 22.

Въ треугольникѣ ABC (чер. 22) углы означаются буквами A, B, C, а противолежащія имъ стороны a, b, c.

Отношенія между углами треугольника выражаются слѣдующими уравненіями, которыя служатъ для рѣшенія задачи какъ *по данной величинѣ двухъ угловъ треугольника или по даннымъ ихъ тригонометрическимъ функціямъ найти величину или тригонометрическую функцію третьяго угла.*

$$A + B + C = 180^0, \ldots\ldots\ldots (31.)$$

Даны A и B, тогда

$$C = 180 - A - B, \ldots\ldots\ldots (32.)$$

$$\sin C = \sin (A + B); \ \cos C = -\cos (A + B) \ldots\ldots (33.)$$

$$\operatorname{tang} C = \frac{\operatorname{tang} A + \operatorname{tang} B}{\operatorname{tang} A \operatorname{tg} B - 1}; \ \operatorname{tang} \frac{C}{2} = \operatorname{cotg} \frac{A + B}{2} \ldots (34.)$$

Первая задача. *Даны углы треугольника и одна изъ его сторонъ*, найти другія двѣ стороны. Пусть a данная сторона

$$b = a \frac{\sin B}{\sin A}; \ c = a \frac{\sin C}{\sin A} \ldots\ldots\ldots (35.)$$

$$\left.\begin{aligned} \log b &= \log a + \log \sin B - \log \sin A \\ \log c &= \log a + \log \sin C - \log \sin A \end{aligned}\right\} (35\,a.)$$

Вторая задача. *Даны двѣ стороны и уголъ между ними заключающійся.* Пусть a и c данныя стороны, C уголъ между ними.

Простѣйшая формула для опредѣленія третьей стороны есть

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2\,a\,b \cos C} \ldots\ldots (36.)$$

Если уголь C тупой, то третій членъ подкореннаго выраженія придается къ двумъ первымъ, потому что косинусъ тупаго угла есть величина отрицательная.

Но эта формула неудобна для вычисленія по логариѳмамъ и потому ее преобразовываютъ, полагая

что $\sin D = \frac{2\sqrt{a\,b}}{a+b}\cos\frac{C}{2}$, тогда $c = (a+b)\cos D$ . . . . (37.)

или $\text{tang}\, E = \frac{2\sqrt{a\,b}}{a-b}\sin\frac{C}{2}$, тогда $c = (a-b)\sec E$ . . . . (38.)

Когда c вычислено, то углы A и B найдутся по формуламъ

$$\sin A = \frac{a}{c}\sin C;\ \sin B = \frac{b}{c}\sin C. \ldots\ldots\ldots\ldots (39.)$$

Независимо отъ третьей стороны, углы опредѣляются слѣдующимъ образомъ.

$$\left.\begin{array}{l} \text{tang}\,\frac{A+B}{2} = \text{cotg}\,\frac{C}{2};\ \text{tg}\,\frac{A-B}{2} = \frac{a-b}{a+b}\,\text{cotng}\,\frac{C}{2} \\ A = \frac{A+B}{2} + \frac{A-B}{2};\ B = \frac{A+B}{2} - \frac{A-B}{2} \end{array}\right\} \ldots (40.)$$

Третья задача. *Даны три стороны тригольника.* Простѣйшая формула для опредѣленіе угла есть

$$\cos C = \frac{a^2+b^2-c^2}{2\,a\,b} \ldots\ldots\ldots (41.)$$

Когда есть логариѳмы, тогда употребляютъ одну изъ слѣдующихъ четырехъ формулъ

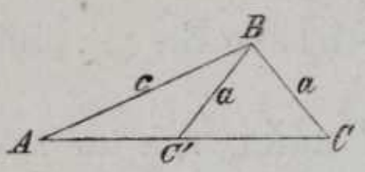
$$\left.\begin{array}{l} \cos\frac{C}{2} = \sqrt{\frac{s\,(s-c)}{a\,b}};\ \sin\frac{C}{2} = \sqrt{\frac{(s-a)\,(s-b)}{a\,b}} \\ \text{cotang}\,\frac{C}{2} = \sqrt{\frac{s\,(s-c)}{(s-a)(s-b)}},\ \text{tg}\,\frac{C}{2} = \sqrt{\frac{(s-a)\ s-b)}{s\,(s-c)}} \end{array}\right\} (42.)$$

$$\text{въ нихъ}\ s = \frac{a+b+c}{2}$$

Когда уголъ $\frac{C}{2}$ великъ т. е. болѣе 45^0 или c^2 болѣе нежели a^2+b^2, тогда удобнѣе опредѣлять его косинусъ или котангенсъ, а при маломъ углѣ лучше брать синусъ или тангенсъ. Есть еще формула для опредѣленія угла, но она мало употребительна

$$\sin C = \frac{2\sqrt{s\,(s-a)\,(s-b)\,s-c)}}{a\,b} \ldots (43.)$$

Когда уголъ C близко подходитъ къ прямому, то эта формула неудобна.



Чер. 23.

Четвертая задача. *Даны двѣ стороны и уголъ противолежащій одной изъ нихъ.* Пусть данныя стороны суть a и c, а уголъ есть A. Синусъ угла противолежащаго сторонѣ C опредѣляется изъ формулы

$$\sin C = \frac{c}{a} \sin A. \ldots (44.)$$

но этотъ же синусъ можетъ соотвѣтствовать другому углу C' дополняющему уголъ C т. е. $C' = 180 - C$, и потому задача допускаетъ два рѣшенія; для уничтоженія неопредѣленности надобно знать какимъ долженъ быть тотъ уголъ, который противолежитъ сторонѣ c, тупымъ или острымъ. Вообще при производствѣ съемокъ должно избѣгать случаевъ, приводящихъ къ рѣшенію этой задачи, особенно если уголъ C близко подходитъ къ прямому.

Вообще надобно помнить, что очень острые и тупые углы опредѣляются точнѣе ихъ синусами, тангенстами и косекансами, а подходящіе къ прямому ихъ косинусами, котангенсами и секансами.

Пятая задача. *Рѣшеніе прямоугольныхъ треугольниковъ.* Всѣ приведенныя формулы прилагаются къ прямоугольнымъ треугольникамъ, но онѣ очень упрощаются въ этомъ приложеніи, потому что въ нихъ вводятся тригонометрическія функціи прямаго угла, а именно

$\sin 90^0 = 1$; $\cos 90^0 = 0$; $\text{tang}\, 90^0 = \infty$; $\text{cotang}\, 90^0 = 0$; $\sec 90^0 = \infty$; $\text{cosc}\, 90^0 = 1$.

Пусть C означаетъ прямой уголъ, A и B суть пополнительные углы одинъ другаго и потому синусъ однаго равенъ косинусу другаго, какъ сказано въ статьѣ II этаго §.

Вотъ разные случаи рѣшенія прямоугольнаго треугольника.

1. Даны уголъ B и ипотенуза c; тогда

$$A = 90 - B;\ a = c \cos B;\ b = c \sin B, \ldots\ldots (45.)$$

2. Даны уголъ B и катетъ a, ему прилежащій,

$$A = 90 - B;\ b = a\, \text{tang}\, B;\ c = a \sec B. \ldots\ldots (46.)$$

3. Даны катеты a и b

$$\text{tang A} = \frac{a}{b};\ \text{tang B} = \frac{b}{a};\ c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \ldots\ldots\ldots (47.)$$

4. Даны ипотенуза c и катетъ a

$$\sin A = \cos B = \frac{a}{c};\ b = \sqrt{a^2 - c^2} \quad \ldots (48.)$$

5. Даны три стороны a, b и c, между которыми существуетъ отношеніе, выражаемое уравненіемъ $c^2 = a^2 + b^2$, изъ чего видно что триугольникъ есть прямоугольный.

$$\sin A = \frac{a}{c};\ \sin B = \frac{b}{c} \quad \ldots\ldots (49.)$$

Шестая задача. *Выразить площадь триугольника по даннымъ его сторонамъ или угламъ.*

1. Даны сторона c и всѣ три угла

$$S = \frac{c^2}{2} \frac{\sin A \sin B}{\sin C} \quad \ldots (50.)$$

2. Даны двѣ стороны b и c и уголъ A между ними

$$S = \frac{b\,c \sin A}{2} \quad \ldots\ldots (51.)$$

3. Даны три стороны. См. § 32. (1.)

V. *Рѣшеніе сферическихъ триугольниковъ.* Формулы для рѣшенія этихъ триугольниковъ выводятся изъ слѣдующихъ двухъ правилъ.

Сферическій избытокъ, или разность между суммою трехъ угловъ триугольника и двумя прямыми углами, имѣетъ къ четыремъ прямымъ угламъ тоже отношеніе, какое площадь триугольника къ поверхности полушара.

Синусы угловъ сферическаго триугольника находятся между собою въ отношеніи синусовъ тѣхъ угловъ при центрѣ шара, которые соотвѣтствуютъ противолежащимъ сторонамъ триугольника.

Первая задача. Опредѣлить величину угла, соотвѣтствующаго данной дугѣ и обратно.

При этомъ вычисленіи достаточно принимать землю за шаръ, котораго діаметръ содержитъ 5,968180 сажень (§ 3) и слѣдовательно величина дугъ большаго круга земнаго шара въ саженяхъ есть

Дуга равная радіусу земли . . .	2,984090	log = 6.4748119
Дуга величиною въ одинъ градусъ	52,082	log = 4.7166893
Дуга величиною въ одну минуту*)	868.04	log = 2.9385380
Дуга величиною въ одну секунду	14.467	log = 1.1603867

Слѣдовательно если a есть длина дуги въ саженяхъ, α величина угла въ секундахъ, то между ними существуетъ отношеніе.

$$a = \alpha \times 14{,}467 \ldots\ldots\ldots (52.)$$

Вторая задача. Вычислить приблизительно синусъ угла соотвѣствующаго малой дугѣ на земной поверхности и

---

*) Если желаютъ точнѣе опредѣлить величину малой дуги на земномъ шарѣ, принимая въ расчетъ его сжатіе въ $\frac{1}{300}$ то употребляютъ слѣдующую формулу для дуги меридіана въ 1′

$$m = 868.04 \left(1 \pm \frac{\sin 2\delta}{200}\right). \ldots\ldots (1.)$$

гдѣ δ есть разность между широтою мѣста и 45°, знакъ + берется когда широта больше 45° и — когда она меньше.

Для дуги круга, перпендикулярнаго къ меридіану, величина въ одну минуту есть

$$m' = 868.04 \left(1 + \frac{1}{300} \pm \frac{\sin 2\delta}{600}\right). \ldots\ldots (2.)$$

А величина одной минуты дуги большаго круга, составляющаго съ меридіаномъ уголъ θ есть

$$m'' = m \cos^2\Theta + m' \sin^2\Theta. \ldots\ldots (3.)$$

Средняя величина одной минуты дуги всякаго большаго круга проходящаго чрезъ данную точку есть

$$\frac{m + m'}{2} = 868.04 \left(1 + \frac{1}{600} \pm \frac{\sin 2\delta}{300}\right). \ldots\ldots (4.)$$

У 30° широты, гдѣ параллель дѣлитъ полушаръ почти на двѣ равныя части, второй множитель этаго выраженія обращается въ единицу, а дуга получаетъ среднюю свою величину; поверхность земнаго шара почти равна поверхности шара описаннаго радіусомъ въ 2,984090 сажень, соотвѣтствующимъ этой дугѣ.

Площадь квадрата, котораго сторона равна 1′ есть приблизительно въ квадратныхъ саженяхъ

$$mm' = (868.04)^2 \left(1 + \frac{1}{300} \pm \frac{\sin 2\delta}{150}\right). \ldots\ldots (5.)$$

Эта величина тоже получаетъ среднее значеніе при широтѣ 30°.

Длина одной минуты долготы въ саженяхъ есть при широтѣ l

$$m''' = m' \cos l$$

обратно: α длина дуги, r радіусъ земли, α величина угла; величина синуса угла и отношенія дуги къ радіусу опредѣляются посредствомъ строкъ

$$\sin\alpha = \frac{a}{r} - \frac{1}{1.2.3}\frac{a^3}{r^3} + \frac{1}{1.2.3.4.5}\frac{a^5}{r^5} - \ldots\ldots \quad (53.)$$

$$\frac{a}{r} = \sin\alpha + \frac{1}{1.2.3}\sin^3\alpha + \frac{1.3}{2.4.5}\sin^5\alpha + \ldots\ldots \quad (54.)$$

При геодезическихъ дѣйствіяхъ, производимыхъ инженерами, достаточно ограничиваться двумя членами

$$\sin\alpha = \frac{a}{r}\left(1 - \frac{a^2}{6r^2}\right) \ldots\ldots\ldots \quad (55.)$$

$$\frac{a}{r} = \sin\alpha\left(1 + \frac{\sin^2\alpha}{6}\right) \ldots\ldots\ldots \quad (56.)$$

Для вычисленія по логариѳмамъ могутъ служить приблизительныя выраженія

$$\log\sin\alpha = \log\frac{a}{r} - 0.0723824\frac{a^2}{r^2}$$

$$\log\sin\alpha = \log a - 6.4748119 - 0.0723824\frac{a^2}{r^2} \ldots\ldots \quad (55\,a.)$$

$$\log a = 6.4748119 + \log\sin\alpha + 0.0723824\sin^2\alpha \ldots \quad (56\,a.)$$

число 0.0723824 есть модуль обыкновенной системы логариѳмовъ, раздѣленный на 6.

Третья задача. Дана площадь сферическаго треугольника на поверхности земли, найти сферическій избытокъ.

Пусть S данная площадь, r радіусъ земли, $\underset{V}{X}$ сферическій избытокъ

$$X = 360^0\frac{S}{2\pi r^2} = 206264'',8\frac{S}{r^2} \ldots\ldots \quad (57.)$$

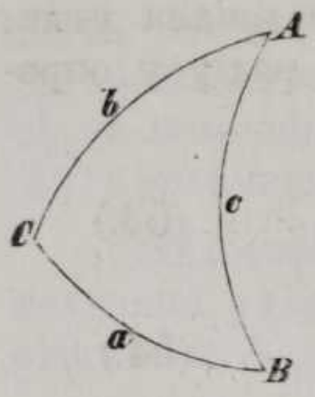
Когда S въ квадратныхъ саженяхъ, r въ саженяхъ, а X въ секундахъ, то

$$X = \frac{S}{43{,}171620} \ldots\ldots \quad (57.)$$

или

$$\log X = \log S - 7.6351984 \ldots\ldots\ldots \quad (58\,a.)$$

Вмѣсто того чтобы говорить уголъ, соотвѣтствующій



Чер. 24.

сторонѣ сферическаго треугольника, впередъ будетъ употребляться слово сторона. Въ треугольникѣ ABC (чер. 24) A, B и C суть углы, a, b, c стороны, α, β, γ будутъ означать углы, соотвѣтствующіе этимъ сторонамъ при центрѣ.

Четвертая задача. Даны два угла треугольника и прилежащая имъ сторона. Пусть даны углы A и B и сторона γ.

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tang}\frac{\alpha+\beta}{2} &= \operatorname{tang}\frac{\gamma}{2}\,\frac{\cos\frac{A-B}{2}}{\cos\frac{A+B}{2}} \\ \operatorname{tang}\frac{\alpha-\beta}{2} &= \operatorname{tang}\frac{\gamma}{2}\,\frac{\sin\frac{A-B}{2}}{\sin\frac{A+B}{2}} \\ \alpha &= \frac{\alpha+\beta}{2}+\frac{\alpha-\beta}{2};\ \beta=\frac{\alpha+\beta}{2}-\frac{\alpha-\beta}{2} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (59.)$$

Третій уголъ найдется изъ пропорціи

$$\sin\alpha : \sin\beta : \sin\gamma = \sin A : \sin B : \sin C \ldots\ldots\ldots (60.)$$

Пятая задача. Даны двѣ стороны треугольника и уголъ между ними.

Пусть α и β данныя стороны, C данный уголъ

$$\cos\gamma = \cos\alpha.\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta\cos C \ldots (61.)$$

Чтобы сдѣлать эту формулу удобною для вычисленія по логариѳмамъ надобно предположить

$$\sin D = \sin\frac{E}{2}\sqrt{\sin\alpha\sin\beta}$$

тогда

$$\sin\frac{\gamma}{2} = \sqrt{\sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}+D\right)\sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}-D\right)} \quad (62.)$$

а для отысканія остальныхъ угловъ будетъ служить пропорція

$$\sin\gamma : \sin\alpha : \sin\beta = \sin C : \sin A : \sin B \ldots\ldots (63.)$$

Другой способъ опредѣленія угловъ.

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tang}\frac{A+B}{2} &= \frac{\cos\frac{\alpha-\beta}{2}}{\cos\frac{\alpha+\beta}{2}}\operatorname{cotg}\frac{C}{2} \\ \operatorname{tang}\frac{A-B}{2} &= \frac{\sin\frac{\alpha-\beta}{2}}{\sin\frac{\alpha+\beta}{2}}\operatorname{cotg}\frac{C}{2} \\ A = \frac{A+B}{2}+\frac{A-B}{2};\ B &= \frac{A+B}{2}-\frac{A-B}{2} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (64.)$$

Третья сторона опредѣляется изъ пропорціи (63.)

Шестая задача. Даны три стороны треугольника.

$$\cos C = \frac{\cos\gamma - \cos\alpha.\cos\beta}{\sin\alpha.\sin\beta} \ldots\ldots (65.)$$

Для того чтобы сдѣлать удобнымъ вычисленіе по логариѳмамъ положимъ

$$\sigma = \frac{\alpha+\beta+\gamma}{2}$$

$$\cos\frac{C}{2} = \sqrt{\frac{\sin\sigma.\sin(\sigma-\gamma)}{\sin\alpha\sin\beta}};\ \sin\frac{C}{2} = \sqrt{\frac{\sin(\sigma-\alpha)\sin(\sigma-\beta)}{\sin\alpha.\sin\beta}} \quad (66.)$$

Когда $\frac{C}{2}$ подходитъ близко къ прямому углу или C заключается между 45^0 и 135^0 тогда лучше опредѣлить косинусъ нежели синусъ.

Таже формула служитъ для опредѣленія другихъ угловъ если въ ней подставить вмѣсто α, β, γ.

при опредѣленіи A . β, γ, α.
при опредѣленіи B . γ, α, β.

Седьмая задача. Рѣшеніе прямоугольныхъ сферическихъ треугольниковъ. Пусть C прямой уголъ, γ противолежащая ему сторона.

1й случай. Даны стороны α и β

$$\cos\alpha.\cos\beta = \cos\gamma. \ldots\ldots\ldots (67.)$$

$$\cos A = \text{cotang}\,\gamma \,.\, \text{tang}\,\beta;\quad \cos B = \text{cotang}\,\gamma \,.\, \text{tang}\,\alpha. \qquad (68.)$$

или

$$\text{cotang}\,A = \text{cotang}\,\alpha \,.\, \sin\beta;\quad \text{cotg}\,B = \text{cotg}\,\beta \,.\, \sin\alpha. \qquad (69.)$$

2й случай. Дана сторона α и противулежащій уголъ A.

$$\sin\beta = \text{tang}\,\alpha\,\text{cotang}\,A. \ldots\ldots\ldots (70.)$$

сторона γ найдется по уравненіи (67.); а уголъ B по (68.) и (69.)

3й случай. Дана сторона α и прилежащій уголъ B

$$\text{cotang}\,\gamma = \cos B \,.\, \text{cotang}\,\beta. \ldots\ldots\ldots (71.)$$

сторона β найдется по (67.) и A по (68.) или (69.)

4й случай. Даны два угла A и B

$$\cos\alpha = \frac{\cos A}{\sin B};\ \cos\beta = \frac{\cos B}{\sin A};\ \cos\gamma = \text{cotang}\,A \,.\, \text{cotang}\,B. \qquad (72.)$$

VI. *Приблизительное рѣшеніе сферическихъ треугольниковъ при большихъ съемкахъ.* Стороны самыхъ большихъ треугольниковъ, какіе только встрѣчаются при произведеніи съемокъ не превосходятъ 100 верстъ; углы при центрѣ земли, соотвѣтствующіе такимъ сторонамъ, менѣе 1^0, а стрѣла дуги въ 1^0 менѣе $1-25000$ доли радіуса и дуга можетъ быть принята за прямую линію, а треугольникъ за прямолинейный. Сверхъ того площади такихъ треугольниковъ очень малы сравнительно съ поверхностью шара, такъ что при вычисленіи ихъ можно употреблять способы приблизительные и тѣмъ избавиться отъ труда, котораго требуетъ совершенно точное рѣшеніе треугольниковъ по правиламъ сферической тригонометріи.

Первая задача. Въ треугольникѣ, начертанномъ на земной поверхности даны сторона c и два прилежащіе угла A и B, найти третій уголъ.

По формулѣ (50.) надобно узнать приблизительную площадь треугольника, принимая его за прямолинейный; потомъ по формулѣ (58.) и (58а.) найти сферическій избытокъ X. Тогда

$$C = 180^0 + X - A - B. \ldots\ldots (73.)$$

Вторая задача. Найти приблизительную величину сторонъ a и b тогоже треугольника. Пусть α, β, γ углы при центрѣ земли, соотвѣтстующіе сторонамъ.

1й способъ: посредствомъ сферической тригонометріи,

Надобно найти уголъ γ соотвѣтствующій данной сторонѣ c по (52.) или прямо $sin\ \gamma$ по (55.) или (55а.); потомъ

$$\sin\alpha = \frac{\sin A \sin\gamma}{\sin C}; \sin\beta = \frac{\sin B \sin\gamma}{\sin C} \ldots\ldots\ldots (74.)$$

α и β получатся въ секундахъ, а длина дугъ въ саженяхъ найдется изъ уравненій

$$a = \alpha \times 14{,}467;\ b = \beta \times 14{,}467 \ldots\ldots\ldots (75.)$$

или можно вычислить a и b по формуламъ (56.) или (56а.)

2й способъ, посредствомъ плоской тригонометріи. Каждый уголъ надобно уменьшить на одну треть сферическаго избытка и разсматривать треугольникъ какъ прямолинейный.

$$a = c\frac{\sin\left(A - \frac{x}{3}\right)}{\sin\left(C - \frac{x}{3}\right)};\ b = c\frac{\sin\left(B - \frac{x}{3}\right)}{\sin\left(C - \frac{x}{3}\right)} \ldots (76.)$$

Третья задача. Даны въ треугольникѣ на земной поверхности двѣ стороны a и b и уголъ C между ними заключающійся, найти третью сторону c и два угла A и B.

1й способъ, посредствомъ сферической тригонометріи. Надобно найти величину угловъ α и β соотвѣтствующихъ сторонамъ a и b по формулѣ (52) или ихъ синусы по формуламъ (56.) или (56а.); рѣшить треугольникъ, какъ сферическій по формулямъ (62.) и (63.) или (64.) и наконецъ, найдя величину угла γ въ секундахъ, вставить ее въ уравненіе.

$$c = \gamma \times 14{,}467 \ldots\ldots (77.)$$

2й способъ, посредствомъ плоской тригонометріи. Надобно найти приблизительную площадь треугольника по (51), считая его прямолинейнымъ; разчитать величину сферическаго избытка X по (58.) и (58а.) и изъ даннаго угла вычесть треть этого избытка. Потомъ можно рѣшать треугольникъ какъ прямолинейный по двумъ даннымъ сторонамъ a и b и углу между ними $C' = C - \frac{x}{3}$ т. е. найти третью сторону c по формулѣ (37.) или (38.), а углы A' и B' по (39.) или (40.); углы сферическаго треугольника будутъ

$$A = A' + \frac{X}{3};\ B = B' + \frac{X}{3} \ldots\ldots (78.)$$

Четвертая задача. Уменьшить по возможности малыя погрѣшности при измѣреніи угловъ.

Малыя ошибки въ углахъ треугольниковъ узнаются измѣреніемъ всѣхъ трехъ его угловъ и сложеніемъ вмѣстѣ ихъ величинъ: при совершенно точномъ измѣреніи должно удовлетворяться уравненіе

$$A+B+C=180^0+X.$$

гдѣ X есть сферическій избытокъ; но при нѣкоторыхъ погрѣшностяхъ въ измѣреніи угловъ окажется, что

$$A'+B'+C'=180+X+E.$$

гдѣ E есть сумма всѣхъ погрѣшностей: ближайшая къ истинѣ или самая вѣроятная ошибка каждаго угла въ трое меньше нежели E, поэтому

$$A=A'+\frac{E}{3};\ A=B'+\frac{E}{3};\ C=C'+\frac{E}{3} \quad \ldots\ldots \quad (79).$$

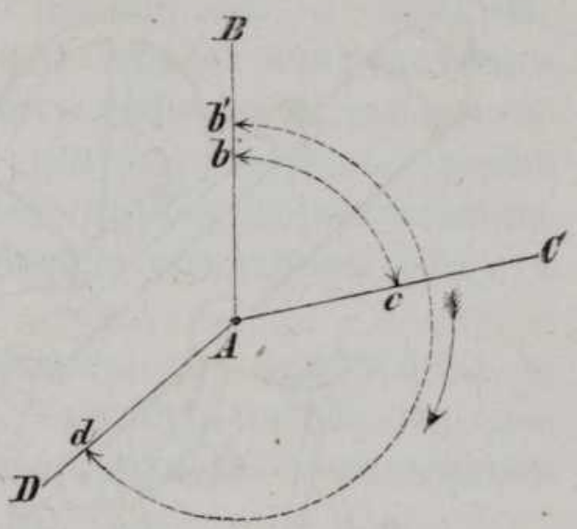
Поправка каждаго угла равна одной трети общей погрѣшности, взятой съ противнымъ знакомъ.

34. Теодолитъ есть инструментъ, служащій для измѣренія угловъ въ горизонтальной плоскости или *азимутовъ*; иногда онъ употребляется также для измѣренія отвѣсныхъ угловъ возвышенія или пониженія предметовъ относительно уровня или *зенитальныхъ разстояній* предметовъ.

Когда слово *Азимутъ* употреблено безъ прилагательнаго, то оно означаетъ число градусовъ, минутъ и секундъ въ углѣ, на который отвѣсная плокость, проходящая чрезъ станъ и данный предметъ, отклоняется *вправо* отъ плоскости, проходящей чрезъ станъ и сѣверный полюсъ или отъ меридіана этого стана. Магнитный азимутъ есть отклоненіе той же плоскости отъ магнитнаго меридіана, который рѣдко совпадаетъ съ истинымъ. Относительнымъ азимутомъ двухъ предметовъ, видимыхъ отъ однаго стана, называется число градусовъ, минутъ и секундъ заключающихся въ углѣ, на который отвѣсная плоскость, проходящая черезъ станъ и одинъ изъ предметовъ, отклоняется вправо отъ плоскости, проходящей черезъ станъ и другой предметъ.

Если азимутъ болѣе 180^0, то предметъ уклоняется влѣво на уголъ, равный разности между 360^0 и азимутомъ, отъ того направленія, отъ котораго считаются азимуты.

На чер. 25. *A* есть станъ; *AB* меридіанъ или плоскость направленная на какой нибудъ предметъ, отъ котораго считаются азимуты или котораго азимутъ есть нуль. *C* есть предметъ, находящійся въ право отъ *B*, его азимутомъ будетъ градусная величина угла *BAC* или дуга *bc:* для предмета *D*, влѣво отъ *B*, азимутъ есть градусная величина дуги *b'd* или дополненіе угла *DAB* до 360°.



Чер. 25.

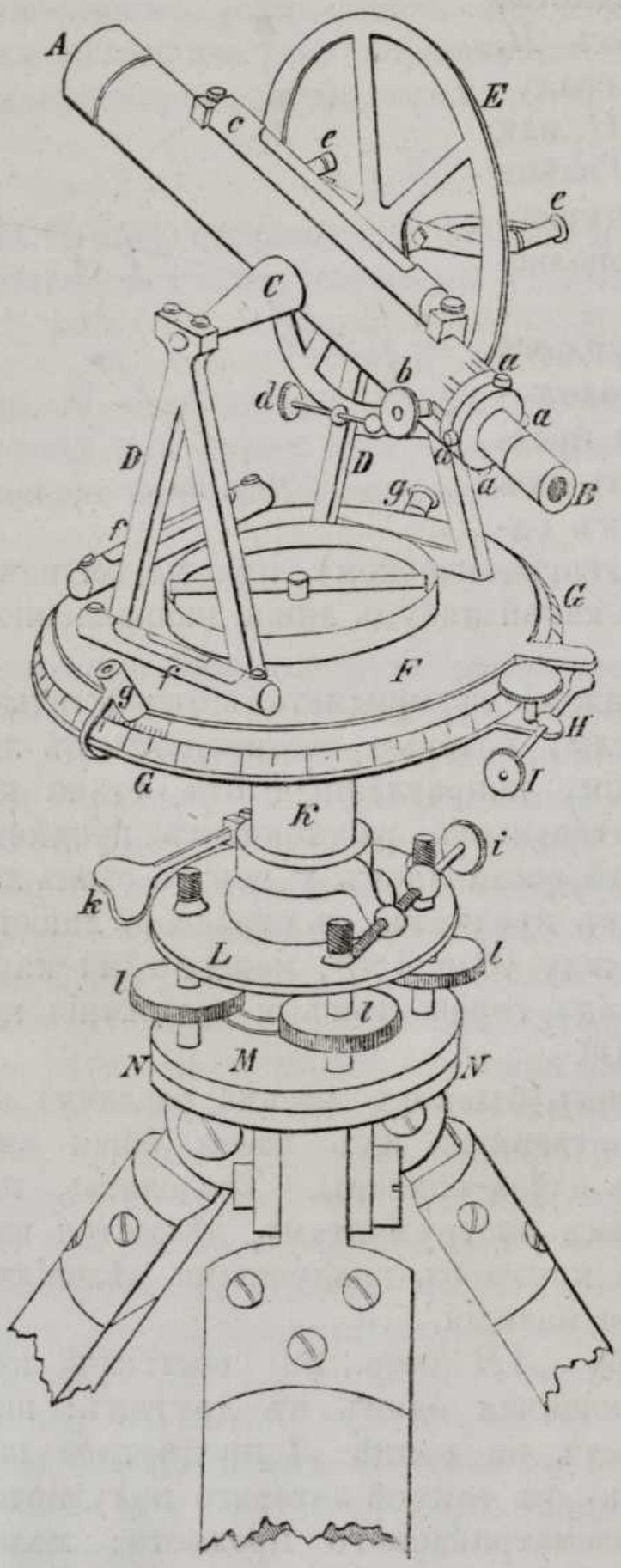
Горизонтальнымъ угломъ или горизонтальнымъ проложеніемъ угла между двумя предметами называется разность ихъ азимутовъ, отнесенныхъ къ одной и тойже линіи т. е. географическому или магнитному меридіану или вообще къ какой нибудь линіи, направленной на зёмной предметъ.

Возвышеніемъ и пониженіемъ предметовъ относительно горизонта называются углы, которые составляютъ съ линіею уровня прямыя линіи, направленныя отъ стана къ этимъ предметамъ; зенитальнымъ разстояніемъ предмета называется уголъ, который составляетъ у центра стана линія, направленная на этотъ предметъ, съ отвѣсною линіею; эти углы заключаются между 0° и 180°, между тѣмъ какъ высоты или повышенія надъ горизонтомъ и пониженія никогда не превосходятъ 90°.

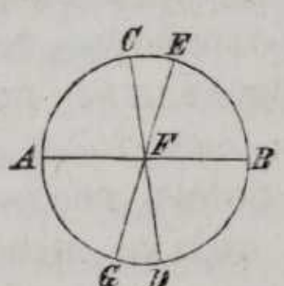
Устройство теодолитовъ бываетъ весьма различно въ подробностяхъ, но существенныя ихъ части общи имъ всѣмъ: онѣ то и будутъ здѣсь описаны. Теодолиты, подобно всѣмъ геодезическимъ инструментамъ, дѣлаются изъ мѣди; только *лимбы* или круги съ градусными дѣленіями бываютъ изъ серебра или паладія.

I. *Зрительная труба AB* (чер. 26) состоитъ изъ двухъ цилиндровъ двигающихся одинъ въ другомъ: широкая часть трубы имѣетъ на концѣ *A* предметное выпуклое стекло (объективъ), въ фокусѣ котораго получается обратное изображеніе разсматриваемаго предмета; малая трубка, тоже цилиндрическая, содержитъ въ концѣ *B* нѣсколько стеколъ, которые служатъ для разсматриванія опрокинутаго изображенія предмета въ увеличенномъ видѣ,

они всѣ вмѣстѣ составляютъ окуляръ или глазное стекло. Можно прибавить еще трубку съ нѣсколькими стеклами для того, чтобы оприкинуть изображеніе и представить его въ прямомъ видѣ, но отъ этаго только теряется ясность изображенія а пользы никакой въ томъ нѣтъ. Двигая одну трубку въ другой посредствомъ шестерни *b* можно свести въ одну точку фокусы обоихъ стеколъ предметнаго и глазнаго, что узнается по ясности и чистотѣ изображенія предмета. Въ этомъ общемъ фокусѣ обоихъ стеколъ помѣщается кольцо съ натянутыми въ немъ шелковыми или платинными нитями, пересѣкающимися въ центрѣ кольца: этихъ нитей можетъ быть двѣ подъ прямымъ угломъ одна къ другой или три какъ на чер. 27:



Чер. 26.



Чер. 27.

одна AB горизонтальная и двѣ равно наклонныя къ ней CD и EG, онѣ пересѣкаются всѣ въ одной точкѣ F, называемой центромъ сѣтки. Центръ сѣтки долженъ быть непремѣнно на оси трубы т. е. на линіи сое-

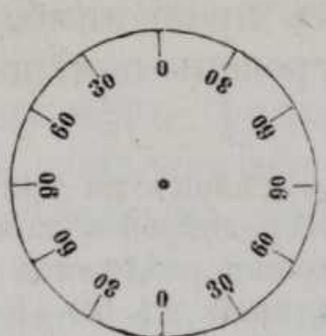
диняющей центры предметнаго и глазнаго стеколъ; въ случаѣ отклоненія отъ этой линіи, сѣтка приводится въ правильное положеніе винтами, которые въ чер. 26 означена буквами a, a, a, a.

II. *Уровень* съ воздушнымъ пузыркомъ c прикрѣпленъ къ широкой части зрительной трубы посредствомъ винтовъ, которые даютъ возможность приводить его въ положеніе параллельное оси трубы; когда пузырекъ уровня находится на срединѣ его, то ось трубы горизонтальна. Устройство уровня и его употребленіе объяснены будутъ въ статьѣ о нивелированіи.

III. *Вертлюги* C перпендикулярны къ оси трубы и, у вѣрнаго инструмента, имѣютъ горизонтальную ось вращенія, такъ что труба при пониженіяхъ и повышеніяхъ описываетъ отвѣсную плоскость.

IV. *Ножки* или подставки D имѣютъ обыкновенно такую высоту, что трубу можно опрокинуть черезъ зенитъ или сдѣлать ею полный круговой оборотъ въ отвѣсной плоскости. Въ Иверестовомъ теодолитѣ ножки очень низки и переводъ трубы черезъ зенитъ не возможенъ, онъ замѣняется перекладываніемъ трубы на ножкахъ, для чего вертлюги вынимаются изъ гнѣздъ. Въ обыкновенныхъ теодолитахъ вертлюги прикрѣплены не къ самой трубѣ, а къ мѣдному бруску, на концахъ котораго есть вилки, въ нихъ то и лежитъ труба и въ нихъ она перекладывается когда нужно перевести ее черезъ зенитъ; труба удерживается въ вилкахъ скобами съ шарньерами на одной и чеками на другой сторонѣ.

V. *Отвѣсный лимбъ* или *кругъ высотъ* E находится на оси вертлюговъ или горизонтальной оси вращенія трубы. Дѣленія идутъ на немъ отъ 0^0 вправо до 360^0 или онъ дѣлится на четыре четверти и въ каждой идетъ градусная надпись отъ 0^0 до 90^0 (чер. 28.); нули находятся на діаметрѣ параллельномъ оси трубы, а 90^0 на діаметрѣ перпендикулярномъ; на двухъ концахъ горизонтальнаго бруска есть указатели съ ноніусами*), которыхъ показанія читаются при помощи микроскоповъ или лупокъ e; когда ось трубы горизонтальна, тогда указатели должны стоять на нуляхъ лимба.



Чер. 28.

*) Обыкновенно ноніусъ дѣлается такъ: берутъ дугу лимба во столько его дѣленій, на сколько частей безъ одной должно быть раздѣлено это дѣленіе. Напримѣръ если на лимбѣ каждый градусъ

Когда нужно навести трубу на какой нибудь предметъ, который находится въ одной отвѣсной плоскости съ ея осью, тогда рукою опускаютъ или поднимаютъ трубу до того времени, пока въ полѣ трубы покажется предметъ; тогда надобно закрѣпить отвѣсный кругъ *становымъ винтомъ*, который находится у нижняго его края, а потомъ *тангентомъ* d или микрометреннымъ винтомъ довести центръ сѣтки до предмета.

Въ теодолитѣ Иереста вмѣсто полнаго отвѣснаго круга есть два сектора каждый въ 90°, имъ можно измѣрять повышенія и пониженія относительно уровня до 45°; уровень прикрѣпленъ къ горизонтальному бруску съ ноніусами, а не къ зрительной трубѣ.

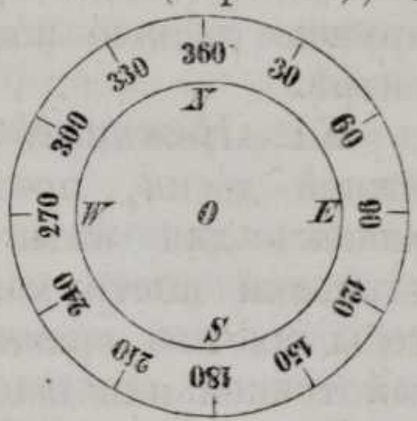
Въ обыкновенныхъ теодолитахъ кругъ высотъ замѣняется полукругомъ или даже дугою, которая меньше полукруга, съ однимъ ноніусомъ, помѣщеннымъ внизу.

VI. *Алидада F* (чер. 26) есть мѣдный кругъ, перпендикулярный къ оси вращенія всего инструмента; въ нее упираются ножки *D, D*, поддерживающія ось вращенія трубы; по срединѣ ея помѣщена *буссоль* со стекляною крышкою, а съ краю два *уровня* f f подъ прямымъ угломъ одинъ къ другому. Въ двухъ противоположныхъ точкахъ окружности алидады находятся ноніусы, для чтенія которыхъ служатъ лупки *g* и *g*. Во многихъ теодолитахъ бываетъ только одна лупка, которую можно передвигать отъ однаго ноніуса къ другому. — Въ теодолитѣ Иереста алидадный кругъ замѣненъ тремя линейками, идущими подобно радіусамъ подъ равными углами отъ оси вращенія къ краю лимба, въ концѣ каждой линейки есть ноніусъ, а уровень помѣщенъ при горизонтальной оси вращенія трубы.

раздѣленъ на три части и слѣдовательно дѣленія лимба въ 20′, а посредствомъ ноніуса желаютъ имѣть трети минуты или 20″ т. е. нужно раздѣлить одно дѣленіе лимба на 60 частей, то берется дуга длиной въ 60—1 или 59 дѣленій лимба и дѣлится на 60 частей, каждая изъ нихъ будетъ составлять 59—60хъ долей лимба или 19′ 40″.

Надписи на ноніусѣ всегда дѣлаются въ минутахъ и потому простѣйшее средство узнать точность ноніуса состоитъ въ томъ, чтобы прочесть двѣ послѣдовательныя надписи и сосчитать число дѣленій между ними находящихся, разность надписей, раздѣленная на число сосчитанныхъ дѣленій, будетъ точность ноніуса. Напримѣръ между цифрами 6 и 8 на ноніусѣ есть 12 дѣленій, точность равна 2′ раздѣленнымъ на 12 частей или 10″.

VII. *Лимбъ G* имѣетъ край въ видѣ усѣченнаго конуса, на немъ назначены градусныя дѣленія, надпись идетъ отъ лѣвой руки къ правой, отъ 0^0 до 360^0 (чер. 29.); тѣ части алидады, гдѣ находятся ноніусы обдѣланы наклонно и составляютъ продолженіе конической поверхности лимба. Пластинка, прикрѣпленная къ алидадѣ или составляющая ея часть, выступаетъ за лимбъ и при ней есть *становой винтъ H*, которымъ алидада связывается съ лимбомъ, когда труба наведена приблизительно на наблюдаемый предметъ, для точнаго же наведенія служитъ *тангентъ J*.



Чер. 29.

Величина теодолита т. е. діаметръ лимбовъ горизонтальнаго и отвѣснаго, а также степень точности дѣленій, зависятъ отъ той точности, которая требуется при производствѣ съемки, и отъ ея протяженія. Обыкновенно діаметръ лимба бываетъ отъ четырехъ до восьми дюймовъ; весьма не много приготовлялось инструментовъ съ бо̀льшими кругами. Наиболѣе употребительные теодолиты имѣютъ лимбы пяти дюймоваго діаметра съ полуградусными дѣленіями, ноніусы даютъ точность до одной минуты, на глазъ можно оцѣнивать по нимъ четверть минуты. Для съемки мѣстности подъ желѣзную дорогу надобно употреблять болѣе точные инструменты, которыхъ лимбы имѣли бы шесть дюймовъ въ діаметръ, и дѣленіе на трети градуса, а ноніусы давали бы точность до 20″; при чемъ возможна оцѣнка до 10″ на глазъ.

VIII. *Ось вращенія* инструмента составляетъ трубка *k*, привинченная къ горизонтальному лимбу, она вертится на стержнѣ и обхватывается хомутомъ со становымъ винтомъ *k*; при хомутѣ есть выступъ сквозь который проходитъ тангентъ *i*, дающій лимбу малое движеніе въ азимутѣ. Этотъ винтъ упирается въ головку, привинченную къ

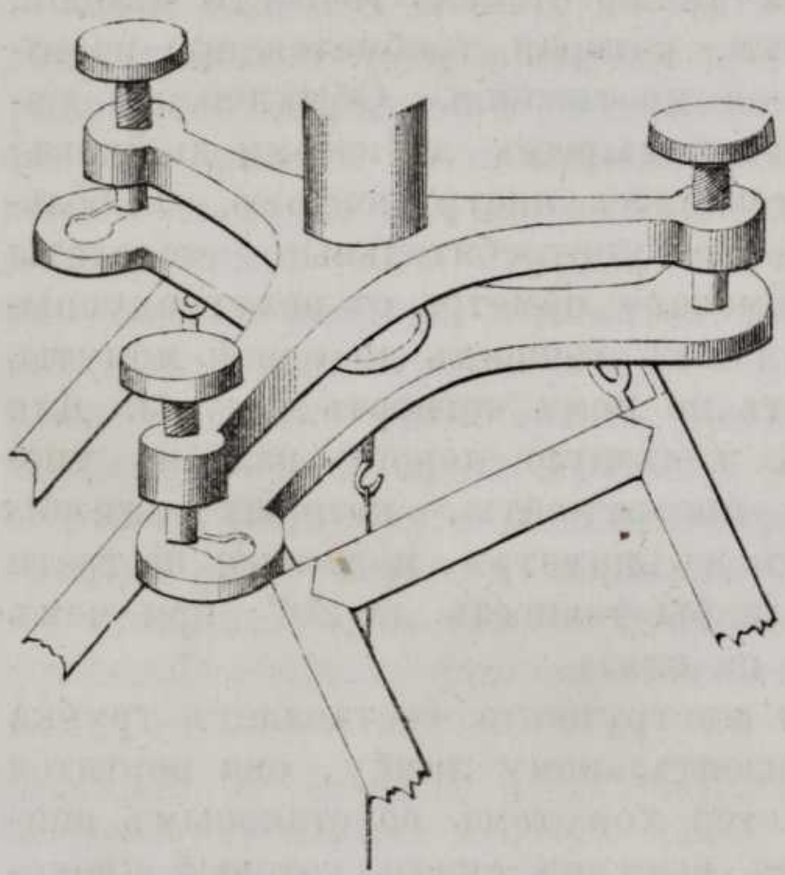
IX. *Верхней доскѣ L* штатива; стержень, на который надѣта трубка *K* лимба составляетъ съ этою доскою одно цѣлое. Четыре *подъемные винта l*, *l*, *l* (четвертаго на чертежѣ не видно) служатъ для того, чтобы установить ось вращенія инструмента въ отвѣсномъ, а лимбъ въ горизонтальномъ положеніи; винты эти проходятъ сквозь

гаечные нарѣзы въ верхней доскѣ *L* и упираются нижними концами въ

X. *Нижнюю доску M* штатива, которая связана съ верхнею доскою посредствомъ *баксы*, помѣщенной въ ея центрѣ.

XI. *Ножки N* штатива прикрѣплены къ выступамъ нижней доски, противъ центра которой снизу бываетъ крючекъ для нити отвѣса. Отвѣсъ этотъ служитъ для установки инструмента въ данной точкѣ на землѣ такъ, чтобы ось его вращенія была на одной отвѣсной линіи съ этой точкой или центромъ стана.

Въ теодолитѣ Иверста верхняя и нижняя доска штатива замѣняются тремя вѣтвями, идущими подъ равными углами отъ центра инструмента, на концахъ ихъ имѣются подъемные винты (чер. 30) съ головками на верхнихъ концахъ и съ выступами на нижнихъ: винты эти проходятъ сквозь гаечные нарѣзы верхней доски, а нижними выступами удерживаются они въ прорѣзахъ нижней доски; баксы въ этомъ теодолитѣ нѣтъ. Три винта представляютъ то преимущество, что установка въ горизонтальномъ положеніи производится одною рукою, тогда какъ при четырехъ винтахъ нужно для установки инструмента дѣйствовать обѣими руками.



Чер. 30.

У нѣкоторыхъ теодолитовъ бываетъ вторая труба при горизонтальномъ лимбѣ, помѣщаемая подъ нимъ: она служитъ для повѣрки положенія этаго лимба или для узнанія не сдвинулся ли онъ съ мѣста, когда алидада передвинута съ однаго предмета на другой.

35. Установка и вывѣрка теодолита. Установка теодолита, какъ и всякаго геодезическаго инструмента производится

съемщикомъ каждый разъ, когда онъ употребляетъ его въ дѣло; а вывѣрка производится преимущественно инструментальнымъ мастеромъ, съемщикъ же долженъ только умѣть узнавать вѣренъ ли инструментъ, иногда онъ можетъ дѣлать въ немъ небольшія поправки.

I. *Установка* вывѣреннаго теодолита производится слѣдующимъ образомъ:

1. Онъ ставится въ центрѣ стана помощью отвѣса, о которомъ говорилось въ XI пунктѣ предъидущаго §.

2. Его приводятъ въ горизонтальное положеніе или устанавливаютъ его ось совершенно отвѣсно: для этаго поворачиваютъ алидаду такъ, чтобы находящіеся при ней уровни стали по направленію діагоналей четыреугольника, образуемаго четырьмя подъемными винтами; потомъ дѣйствуютъ двумя противоположными винтами, поворичивая ихъ въ разныя стороны до тѣхъ поръ, пока воздушный пузырекъ соотвѣтствующаго уровня придетъ на средину; ось другаго уровня устанавливается горизонтально дѣйствіемъ другой пары винтовъ.

Болѣе точная установка инструмента производится по уровню, который находится при трубѣ; онъ больше и чувствительнѣе уровней, которые есть при алидадѣ. Алидаду поворачиваютъ такъ, чтобы труба стала по направленію двухъ противоположныхъ подъемныхъ винтовъ, нуль отвѣснаго круга устанавливаютъ посредствомъ тангента противъ указателя отвѣснаго ноніуса; дѣйствіемъ подъемныхъ винтовъ приводятъ пузырекъ уровня на средину; поварачиваютъ алидаду на 180^0; если пузырекъ отошелъ отъ средины уровня, то половина отклоненія исправляется тангентомъ при отвѣсномъ кругѣ, другая подъемными винтами. Потомъ поварачиваютъ алидаду на 90^0, чтобы труба пришла по направленію двухъ другихъ подъемныхъ винтовъ, которыми дѣйствуютъ также точно какъ и первыми двумя; инструментъ будетъ тогда правильно установленъ, т. е. ось его вращенія будетъ отвѣсна. Если бы послѣ такой установки оказалось, что пузырьки уровней f, f при алидадѣ находятся не посединѣ, то они должны быть вывѣрены и объ этомъ будетъ говориться послѣ.

Въ теодолитѣ Иереста приведеніе въ горизонтальное положеніе производится посредствомъ уровня, параллельнаго оси вращенія трубы; онъ ставится сначала по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ, ими приводится въ горизон-

тальное положеніе, а потомъ поваричивается въ направленіе перпендикулярное къ прежнему, тогда онъ станетъ противъ третьяго винта, которымъ приводятъ опять пузырекъ на средину уровня.

3. Стекла въ трубѣ должны быть такъ установлены, чтобы опрокинутое изображеніе предмета было ясно видно и падало на сѣтку; для этаго смотрятъ въ трубу и двигаютъ глазное стекло, приближая его къ сѣткѣ или удаляя отъ нея до тѣхъ поръ, пока волоски сѣтки будутъ совершенно ясно видны, разстояніе на которомъ сѣтка должна находиться отъ глазнаго стекла зависитъ отъ глаза наблюдателя и потому когда съемщикъ разъ найдетъ на сколько нужно выдвигать глазное стекло, то не нужно уже измѣнять это разстояніе. Направивъ трубу на наблюдаемый предметъ съемщикъ выдвигаетъ шестернею *b* предметное стекло до тѣхъ поръ, пока увидить ясно предметъ: разстояніе предметнаго стекла отъ сѣтки зависитъ отъ удаленія предмета и потому измѣняется съ измѣненіемъ разстоянія предметовъ.

Чтобы узнать падаетъ ли опрокинутое изображеніе предмета на сѣтку, надобно двигать глазъ вправо и влѣво или вверхъ и внизъ передъ очкомъ зрительной трубы и смотрѣть двигаются ли волоски сѣти по изображенію предмета или нѣтъ: движеніе доказываетъ существованіе такъ называемаго *паралакса* нитей. Когда при отклоненіи глаза вправо сѣтка движется по изображенію предмета тоже вправо, то это изображеніе находится передъ сѣткой и надобно удалить предметное стекло отъ сѣтки; если при этомъ ясность изображенія потерпитъ, то надобно придвинуть глазное стекло къ сѣткѣ; при двидвиженіи сѣтки по изображенію предмета въ сторону противную движенію глазу, надобно придвинуть предметное стекло къ сѣткѣ. Когда этаго движенія вовсе нѣтъ, то стекла установлены вѣрно.

II. *Вывѣрку* теодолита надобно производить по временамъ, потому что при частомъ употребленіи инструмента, выниманіи его изъ ящика и укладываніи, могутъ отъ неосторожнаго обращенія произойти нѣкоторые небольшія погрѣшности; въ хорошемъ теодолитѣ ихъ не бываетъ. Приступая къ вывѣркѣ инструмента надобно его тщательно установить.

1. Визирная линія трубы т. е. прямая, проходящая чрезъ центръ сѣтки и центръ предметнаго стекла, должна

быть перпендикулярна къ оси вращенія трубы. Трубу поставленную почти горизонтально направляютъ центромъ сѣтки на какой нибудь предметъ, становые винты какъ лимба, такъ и алидады должны быть закрѣплены; трубу перекладываютъ на ножкахъ такъ, чтобы кругъ высотъ, бывшій на право, перешелъ на лѣвую сторону; если центръ сѣтки падаетъ опять на туже точку предмета, то ось трубы перпендикулярна къ оси вращенія; въ противномъ случаѣ половина отклоненія центра сѣтки отъ предмета исправляется перемѣщеніемъ сѣтки посредствомъ находящихся при кольцѣ ея винтовъ a, а другая половина тангентомъ J при алидадномъ кругѣ. Потомъ надобно снова переложить трубу и вновь ее повѣрить.

Можно также перевести трубу черезъ зенитъ и повернуть алидаду на 180°; центръ сѣтки долженъ падать на тотъ же предметъ.

Въ обыкновенныхъ теодолитахъ, гдѣ труба лежитъ на вилкахъ можно ее переложить въ вилкахъ и повернуть алидаду на 180°; если центръ сѣтки отойдетъ отъ той точки, на которую онъ былъ наведенъ, то половина отклоненія уничтожается перемѣщеніемъ сѣтки, а другая половина тангентомъ при алидадѣ.

2. Вывѣрка уровня при зрительной трубѣ дѣлается по правиламъ, которые будутъ изложены въ главѣ о нивелированіи, также точно какъ и удостовѣреніе въ томъ, что труба двигается въ плоскости отвѣсной. (§ 50.)

Въ обыкновенномъ теодолитѣ вывѣрка уровня при зрительной трубѣ, то есть установка ихъ осей въ параллельномъ положеніи, производится слѣдующимъ образомъ: приведя дѣйствіемъ подъемныхъ винтовъ пузырекъ на средину уровня, перекладываютъ трубу въ вилкахъ; если пузырекъ отошелъ отъ средины уровня, то половина отклоненія исправляется повѣрительными винтами, которые соединяютъ уровень съ зрительною трубою, а другая половина отклоненія уничтожается дѣйствіемъ тангента при отвѣсномъ кругѣ.

3. Для узнанія ошибки отвѣснаго указателя надобно, послѣ установки теодолита въ горизонтальномъ положеніи и приведеніи пузырка на средину уровня при трубѣ, прочесть показаніе отвѣснаго нонiуса; если оно нуль, то указатель стоитъ вѣрно, въ противномъ случаѣ надобно прочитанное показаніе придавать къ измѣряемымъ высотамъ или изъ нихъ вычитать.

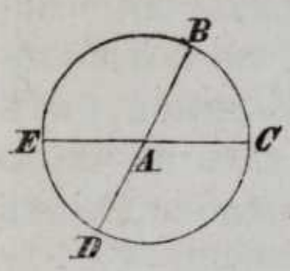
4. Ось вращенія трубы должна быть перпендикулярна къ оси вращенія всего инструмента; если послѣдняя ось отвѣсна, то первая должна быть горизонтальна и удостовѣреніе въ ея горизонтальности можетъ быть произведено слѣдующимъ образомъ: трубу наводятъ центромъ сѣтки на какой нибудь возвышенный предметъ, такъ чтобы она составляла значительный уголъ, напримѣръ въ 45° съ горизонтомъ, перекладываютъ ее на ножкахъ или переводятъ черезъ зенитъ и поворотивъ алидаду, если нужно, на 180° смотрятъ снова на тотже предметъ; когда центръ сѣтки не будетъ покрывать тойже самой точки что и прежде, то ось вращенія не вѣрна; эта погрѣшность можетъ быть исправлена самимъ съемщикомъ въ такомъ теодолитѣ, въ которомъ ножки не глухо скрѣплены съ алидадою, а когда есть винты для подниманія ихъ и опусканія; этими винтами исправляется половина отклоненія сѣтки отъ предмета, другая половина тангентомъ при алидадномъ кругѣ.

На берегу пруда или вообще у горизонтальной поверхности отражающей лучи свѣта вывѣрка эта производится тѣмъ, что наводятъ трубу на предметъ и закрѣпивъ становой винтъ алидады опускаютъ трубу на отраженное въ водѣ изображеніе предмета; такъ какъ оно находится на одной отвѣсной линіи съ наблюдаемымъ предметомъ, то сѣтка волосковъ опущенной трубы должна на него упасть.

36. Измѣреніе теодолитомъ горизонтальныхъ угловъ. Чтобы измѣрить горизонтальную проэкцію угла образующаеся при точкѣ A линіями, направленными на предметы B и C, надобно поставить теодолитъ въ точкѣ A, установить его какъ сказано въ статьѣ I предъидущаго §. Закрѣпивъ лимбъ, надобно поворачиваніемъ алидаднаго круга навести трубу на предметъ B, закрѣпить становой винтъ алидаднаго круга и движеніемъ тангента при этомъ кругѣ навести центръ сѣтки точнымъ образомъ на наблюдаемый предметъ; прочесть на одномъ ноніусѣ градусы, минуты и секунды, на другомъ же только минуты и секунды и записать градусы перваго ноніуса и среднее число минутъ и секундъ между показаніями обоихъ ноніусовъ. Ослабивъ становой винтъ алидады, подвинуть ее и навести трубу на предметъ C, прочесть показанія обоихъ ноніусовъ и записать градусы перваго, а минуты и секунды по среднему показанію обоихъ ноніусовъ.

Разность двухъ записанныхъ показаній ноніусовъ есть величина угла BAC или разность ихъ азимутовъ.

Чтеніе частей градуса на обоихъ ноніусахъ производится для того, чтобы уничтожить ошибки отъ внѣцентренности алидады, то есть отъ несовпаденія ея центра съ центромъ лимба. На чер. 31 EC и BD суть двѣ прямыя пересѣкающіяся въ A, внѣ центра круга $BCDE$, по этому дуги BC и DE неравны между собою, но одна изъ нихъ больше, а другая на столько же меньше дуги, соотвѣтствующей углу BAC, котораго мѣрою будетъ полусумма этихъ двухъ дугъ или средняя между ними величина.



Чер. 31.

Въ теодолитѣ Иереста три ноніуса, между которыми берется среднее показаніе для уничтоженія неточности въ дѣленіяхъ или въ помѣщеніи алидады.

Въ теодолитѣ (чер. 26) ошибка отъ неперпендикулярности оси вращенія трубы къ оси вращенія инструмента можетъ быть уничтожена вторичнымъ снятіемъ угла, переведя трубу черезъ зенитъ и поворотивъ алидаду на 180°, потомъ берется средняя величина между двумя чтеніями ноніусовъ.

Когда нѣсколько горизонтальныхъ угловъ, направленныхъ на разные предметы, снято на одномъ станѣ, то общая ихъ сумма должна быть 360°; погрѣшность не должна превосходить степени точности ноніуса, умноженной на число снятыхъ угловъ; въ противномъ случаѣ надобно всѣ углы перевѣрить. Если погрѣшность въ суммѣ такова, что ее можно допустить, то дѣлятъ ее на число угловъ и каждый уголъ увеличиваютъ или уменьшаютъ на частное, полученное отъ этаго дѣленія, потому что это есть вѣроятная ошибка.

Когда нужна очень большая точность въ опредѣленіи величины угла, то могущія быть погрѣшности уменьшаются посредствомъ *повторенія* угла, которое состоитъ въ слѣдующемъ:

Закрѣпивъ становымъ винтомъ лимбъ, наводятъ трубу на предметъ B посредствомъ движенія алидады, читаютъ показаніе ноніуса, которое пусть будетъ M; движеніемъ алидады наводятъ трубу на предметъ C и закрѣпляютъ ее. Ослабивъ становой винтъ лимба, поворачиваютъ его въ сторону, противную движенію алидады, чтобы труба была

наведена опять на предметъ B; закрѣпляютъ лимбъ и, движеніемъ алидады, наводятъ трубу на предметъ C. Ослабивъ снова становой винтъ лимба, ведутъ его назадъ, и закрѣпляютъ его визируя трубою на B; закрѣпляютъ лимбъ и ведутъ алидаду, визируя на C; уголъ повторенъ теперь три раза и надобно прочесть показаніе ноніуса, назовемъ его буквою N. Ко второму показанію N надобно прибавить 360^0 повторенное столько разъ, сколько разъ ноніусъ, по которому читали показанія, прошелъ черезъ 0 дѣленій лимба, изъ этаго вычесть M и остатокъ раздѣлить на 3, т. е. на число повтореній. Тѣмъ же самымъ способомъ можно сдѣлать столько повтореній, сколько угодно.

Если бы ошибки въ величинѣ угловъ произходили только отъ невѣрнаго чтенія ноніуса, то этимъ способомъ получалась бы величина угла во столько разъ точнѣе обыкновеннаго, во сколько разъ увеличенъ уголъ посредствомъ повторенія; но ошибки произходятъ также и отъ невѣрнаго визированія или наведенія трубы на предметъ, а такъ какъ онѣ повторяются при каждомъ визированіи, то повтореніе угла ихъ не уничтожаетъ, а напротивъ того увеличиваетъ, потому что онѣ бываютъ всегда въ одну сторону. Изъ этаго можно заключить, что повтореніемъ угла приобрѣтается точность въ его измѣреніи, не пропорціональная числу повтореній.

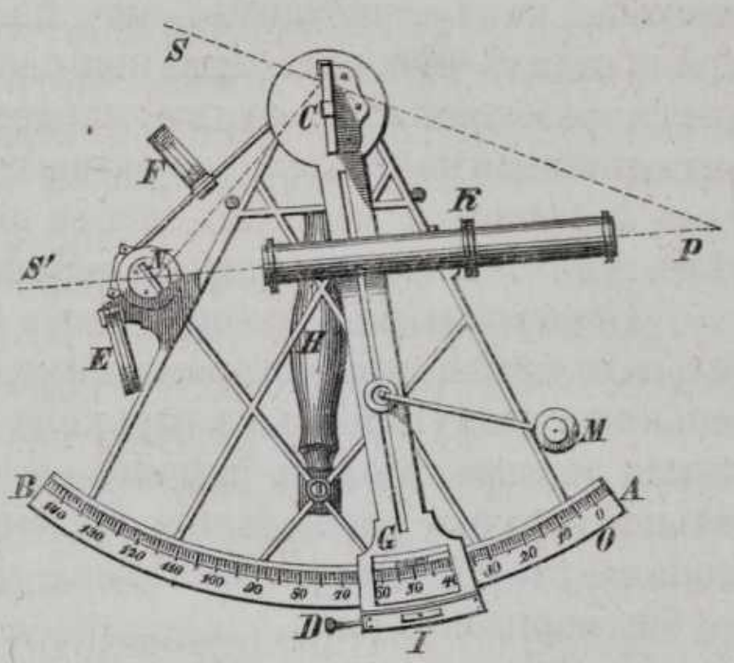
37. Отражательные инструменты употребляются преимущественно на морѣ и при морскихъ съемкахъ, но такъ какъ ими можно пользоваться и при съемкахъ на сушѣ, то здѣсь помѣщается описаніе ихъ въ общихъ чертахъ.

Устройство этихъ инструментовъ основано на слѣдующемъ началѣ: если два плоскихъ зеркала такъ поставлены, что отражающія ихъ поверхности составляютъ между собою какой нибудь уголъ, то лучь свѣта послѣ отраженія въ обоихъ зеркалахъ принимаетъ направленіе, которое съ первоначальнымъ его направленіемъ составляетъ уголъ вдвое большій противъ угла двухъ зеркалъ.

Одно изъ приложеній этаго начала, а именно къ зеркальному экеру, описано въ § 24.

Секстантъ (чер. 32) имѣетъ видъ дуги круга нѣсколько большей 60^0; AB есть лимбъ съ дѣленіями, которыя вдвое мельче дѣленій обыкновеннаго лимба, такъ что дуга въ 60^0 раздѣлена на 120 частей, которыя также называются градусами; CG есть алидада съ ноніусомъ въ

концѣ и съ лупкою *M* для чтенія ноніуса; при ней есть становой винтъ I и тангентъ *D* для малаго движенія. Отражающія поверхности зеркалъ перпендикулярны къ плоскости лимба: *большое зеркало C* помѣщено на алидадѣ у центра вращенія; *малое зеркало N* находится на крайнемъ радіусѣ лимба, съ верхней его половины подводка снята, такъ что оно отражаетъ лучи свѣта только нижнею своею частью. Зеркала должны быть очень вѣрныя, совершенно плоскія и задняя грань должна бы параллельна передней.



Чер. 32.

Зрительная труба *T*, обращенная предметнымъ стекломъ къ малому зеркалу, поддержана кольцомъ *K* и разстояніе ея до плоскости лимба можетъ быть измѣняемо смотря по количеству лучей свѣта, которые нужно въ нее принять отъ предметовъ для яснаго зрѣнія. Цвѣтныя стекла *E* и *F* ослабляютъ свѣтъ солнца, если надъ нимъ призводятся наблюденія. Инструментъ держатъ во время наблюденія за ручку *H*.

Лимбъ морскаго секстанта бываетъ отъ 6 до 8 дюймовъ въ радіусѣ, точность ноніуса въ малыхъ секстантахъ 20″, въ большихъ 10″.

При съемкахъ на сушѣ употребляется *карманный секстантъ*, имъ опредѣляется величина угловъ, которыхъ стороны не болѣе $1\frac{1}{2}$ версты. Онъ заключенъ въ цилиндрической мѣдной коробкѣ діаметромъ въ 3, а высотою въ 2 дюйма; лимбъ его раздѣленъ на полуградусы, точность ноніуса 1′, на глазъ можно оцѣнивать полуминуты; движеніе алидады производится шестернею съ зубчатымъ колесомъ. При этомъ секстантѣ бываетъ зрительная труба, но больше смотрятъ сквозь простое очко.

При карманномъ секстантѣ бываетъ иногда третье зеркало, помѣщенное на алидадѣ подъ прямымъ угломъ къ большому зеркалу; если къ глазу доходитъ лучь отражен-

ный въ этомъ зеркалѣ, то показаніе ноніуса должно вычитать изъ 180°, такъ что при этомъ устройствѣ секстантомъ можно снимать всякіе углы.

Отражательный кругъ Трёфтона имѣетъ такія же зеркала, какъ секстантъ, но полный круговой лимбъ, а при алидадѣ его есть три ноніуса въ равныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ: этимъ инструментомъ можно производить двойныя наблюденія на разныхъ частяхъ лимба; величина угла получается чтеніемъ шести отсчитываній по ноніусамъ, чѣмъ уничтожается существенный недостатокъ секстантовъ.

Универсальный Инструментъ Смитса есть родъ отражательнаго круга, при которомъ находится уровень съ очень маленькимъ воздушнымъ пузырькомъ; посредствомъ выпуклаго стекла и отражающей призмы составляется въ фокусѣ зрительной трубы изображеніе пузырка и когда изображеніе совпадаетъ съ центромъ сѣтки, то это значитъ, что ось трубы горизонтальна.

Повѣрка секстанта производится слѣдующимъ образомъ.

1. Чтобы узнать перпендикулярно ли большое зеркало къ плоскости лимба, надобно поставить указатель ноніуса около средины лимба и смотрѣть въ зеркало съ боку; если дуга лимба вмѣстѣ съ отраженіемъ ея въ зеркалѣ составляетъ на глазъ одну дугу, то зеркало помѣщено вѣрно.

2. Указатель ноніуса ставятъ на нулѣ лимба, и смотрятъ на значительно удаленный предметъ, онъ будетъ виденъ вдвойнѣ: прямо и отраженный въ двухъ зеркалахъ, поворачивая тангентъ можно совмѣстить изображенія и если это совмѣщеніе будетъ точное, то малое зеркало параллельно большому. При большомъ зеркалѣ бываютъ иногда, а при маломъ всегда повѣрительные винты, которыми можно уничтожить неправильность въ ихъ положеніи.

3. Когда оба изображенія весьма далекаго предмета, прямое и отраженное, совершенно совпадаютъ, тогда нуль лимба долженъ приходиться противъ указателя: если этаго нѣтъ, то указатель помѣщенъ не вѣрно и надобно прочесть показаніе ноніуса для того, чтобы вычитать его изъ измѣряемыхъ угловъ. Обыкновенно дѣленія лимба продолжаются за нуль по дополнительной дугѣ; когда указатель алидады при совпаденіи изображеній предмета отходитъ на дополнительную дугу, то показаніе его должно прибавлять къ опредѣляемымъ угламъ.

4. Параллельность оси зрительной трубы съ плоско-

стію лимба узнается такъ: избираютъ два такихъ предмета, чтобы идущіе отъ нихъ къ наблюдателю лучи составляли почти прямой уголъ; визируютъ на одинъ изъ предметовъ и подвигаютъ алидаду такъ, чтобы отраженное въ обоихъ зеркалахъ изображеніе втораго предмета совпало съ первымъ; потомъ даютъ инструменту малое вращательное движеніе около луча, который идетъ отъ втораго предмета; при этомъ не должно разстроиваться совпаденіе изображеній.

38. Употребленіе секстанта при съемкахъ. Для того чтобы измѣрить горизонтальный, или близко подходящій къ горизонтальному уголъ, смотрятъ сквозь зрительную трубу поверхъ малаго зеркала на лѣвый предметъ; двигаютъ потомъ алидаду и когда увидятъ въ маломъ зеркалѣ второе отраженіе праваго предмета, то закрѣпляютъ лимбъ, и потомъ поворачиваніемъ тангента производятъ совершенное совмѣщеніе отраженнаго изображенія праваго предмета съ простымъ изображеніемъ лѣваго: показаніе ноніуса будетъ величина угла, надобно только придать или вычесть погрѣшность указателя, когда она есть.

На чер. 32. PS' представляетъ сторону, направленную на лѣвый предметъ, PS на правый: когда отраженное изображеніе втораго предмета совпадаетъ съ первымъ, то лучь отъ праваго предмета отражается отъ зеркала C къ зеркалу N и потомъ къ глазу въ томъ же направленіи, въ какомъ къ нему приходитъ лучь отъ лѣваго предмета; и уголъ между лучами направленными изъ P на S и S' вдвое больше угла, составляемаго зеркалами. Когда зеркала поставлены параллельно одно другому, то указатель станетъ на 0^o (или отходитъ на величину погрѣшности указателя); надписи на лимбѣ сдѣланы двойныя и потому отсчитываніе на немъ, исправленное отъ почрѣшности указателя, есть величина угла.

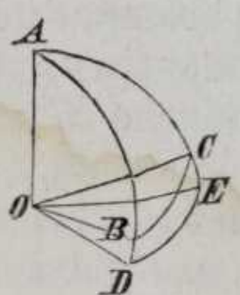
Если одинъ изъ предметовъ менѣе ясно виденъ нежели другой, то надобно направлять зрительную трубу сначала на тотъ предметъ, который хуже видѣнъ, а ясновидимый предметъ долженъ отражаться въ зеркалахъ; для того чтобы такъ видѣть предметы, надобно иногда оборачивать секстантъ зеркалами или лицевою стороною внизъ, а именно когда хорошо видный предметъ находится на лѣво.

Для того, чтобы измѣряемый уголъ былъ въ плоскости горизонтальной, надобно чтобы глазъ наблюдателя и оба предмета были почти въ одномъ уровнѣ.

Если этаго нѣтъ, то можно получить горизонтальное проложеніе угла тремя способами. Первый наименьше вѣрный способъ состоитъ въ томъ, что замѣчаютъ въ уровнѣ глаза два предмета, которые находятся на отвѣсныхъ линіяхъ данныхъ предметовъ, и измѣряютъ уголъ между ними. Нѣсколько вѣрнѣе этаго будетъ установка двухъ кольевъ по отвѣсу въ однихъ плоскостяхъ съ данными предметами и измѣреніе угла между кольями. Какъ тотъ такъ и другой способъ очень употребительны при съемкахъ производимыхъ карманнымъ секстатомъ, если мѣстность не очень холмиста.

Самый вѣрный способъ состоитъ въ *приведеніи угла къ горизонту:* для этаго, кромѣ угла между предметами, измѣреннаго въ плоскости наклонной, надобно знать зенитальныя ихъ разстоянія или пополненія ихъ высотъ до 90°, пониженіе подъ горизонтомъ придается къ 90°, чтобы получить зенитальное разстояніе. Объ томъ какъ измѣряются возвышенія и пониженія предметовъ относительно горизонта, будетъ сказано въ статьѣ объ нивелированіи.

На чер. 33. O представляетъ центръ стана; OB и OC стороны угла, направленныя на два предмета; BOC уголъ между ними; ODE горизонтальную плоскость; DOB и EOC высоты предметовъ; OA отвѣсную линію; ADE часть поверхности шара.



Чер. 33.

Въ сферическомъ триугольникѣ ABC даны три стороны: AB и AC зенительныя разстоянія предметовъ, BC уголъ между предметами; горизонтальное проложеніе этаго угла равное углу A триугольника найдется по уравненію (66.) въ § 33.

39. Употребленіе буссоли при съемкахъ. При теодолитѣ очень часто бываетъ буссоль или компасъ, котораго центръ находится въ центрѣ алидады.

Эта буссоль состоитъ изъ магнитной стрѣлки, наложенной агатовой шляпкой на острый шпенекъ въ центрѣ инструмента, и изъ высеребреннаго кольца, имѣющаго тамъ же свой центръ. На кольцѣ назначены дѣленія величиною въ градусъ или полградуса, 0 или 360° находится въ одной отвѣсной плоскости съ осью трубы, надписи идутъ отъ нуля въ лѣво по всей окружности; буссоль закрыта стекляной крышкой; посредствомъ особаго небольшаго рычага стрѣлку поднимаютъ къ верху и прижимаютъ къ стеклу крышки,

когда буссоль переносятъ съ мѣста или укладываютъ въ ящикъ; это дѣлается для того, чтобы отъ потрясеній шляпка и шпенекъ не портились.

Такою буссолью опредѣляются *магнитные азимуты* линій: установивъ буссоль въ начальной точкѣ линіи, или гдѣ нибудь на линіи, визируютъ по трубѣ на предметъ, находящійся въ концѣ линіи, нуль дѣленій буссоли долженъ быть у предметнаго стекла трубы. Когда стрѣлка успокоится, тогда надобно прочитать дѣленіе, на которое указываетъ сѣверный конецъ стрѣлки, это будетъ магнитный азимутъ линіи или того предмета, на который визировали. Когда стрѣлка показываетъ 0^0, то линія идетъ на сѣверъ; когда 90^0 то на востокъ, при показанію въ 180^0 на югъ, при 270^0 на западъ.

Иногда на кольцѣ бываетъ два нуля, одинъ противъ другаго, и дѣленія идутъ вправо и влѣво отъ нулей до 90^0 (чер. 28); этою буссолью опредѣляются *румбическіе углы* линій: они не превосходятъ 90^0 и при нихъ всегда указывается *румбъ* NO, SO, SW или NW т. е. сѣверо-востокъ, юго-востокъ, юго-западъ или сѣверо-западъ, смотря потому, куда идетъ линія отъ центра стана, а число градусовъ читается по указанію однаго изъ концовъ стрѣлки.

Очень часто употребляютъ при съемкахъ *отражательную буссоль*; это круглая коробка со стекляною крышкою, діаметръ ея 3 или 4 дюйма; на шпенекъ, помѣщенный въ ея центрѣ, надѣта магнитная стрѣлка, къ которой прикрѣплено легкое высеребренное кольцо съ дѣленіями: нуль дѣленій находится противъ южнаго конца стрѣлки и надпись идетъ вправо до 360^0. При коробкѣ есть два діоптра: предметный, высокій съ широкимъ прорѣзомъ, и глазной, низкій съ узкимъ прорѣзомъ при немъ есть отражательная увеличивающая призма, которая отражаетъ прямо въ глазъ наблюдателя ту часть кружка съ дѣленіями, которая находится у глазнаго діоптра. Когда наблюдатель визируетъ этою буссолью на какой нибудь предметъ, то тотчасъ же читаетъ и магнитный его азимутъ.

Если взять разность магнитныхъ азимутовъ двухъ линій, то получится уголъ между ними. Величина угла опредѣляется этимъ способомъ только приблизительно, потому что вопервыхъ читать показанія стрѣлки можно только до четвертей градуса, во вторыхъ на ея направленіе имѣютъ вліяніе явленія земнаго магнетизма и мѣстныя

обстоятельства: послѣднія по мнѣнію многихъ ученыхъ уменьшаютъ точность опредѣленія азимутовъ по магнитной стрѣлкѣ до полуградуса, такъ что буссоль можно употреблять при подробной съемкѣ или при глазомѣрной; но тамъ, гдѣ нужна точность, не слѣдуетъ полагатся на ея показанія.

На планахъ назначается всегда направленіе магнитнаго меридіана, опредѣленіе его дѣлается обыкновенно въ началѣ съемки тѣмъ, что узнаютъ по буссоли азимутъ первой прямой части основной линіи; не смотря на то, что показанія буссоли невѣрны, слѣдуетъ замѣчать азимутные углы на каждомъ сломѣ основной линіи, потому что они доставляютъ возможность открывать грубыя ошибки въ съемкахъ. На планахъ слѣдовало бы показывать истинный меридіанъ или надписывать *склоненіе* стрѣлки, т. е. отклоненіе ея отъ истиннаго меридіана, опредѣленіе котораго изложено будетъ въ § 42.

40. Тригонометрическая съемка состоитъ, какъ объяснено было въ § 12 (в), въ измѣреніи базиса съ большою точностью и опредѣленіи всличины всѣхъ другихъ линій съемки посредствомъ тригонометрическихъ вычисленій по измѣреннымъ при съемкѣ угламъ. Довольно далеко отъ этой базы, называемой *начальною*, измѣряется другая, еще дальше третья, если оказывается нужнымъ: эти базы называются *повѣрительными*, потому что по нимъ узнается нѣтъ ли общей погрѣшности въ съемкѣ или въ вычисленіяхъ.

Иногда обстоятельства мѣстности не дозволяетъ измѣрить довольно длинную прямую линію, которая могла бы быть принята за базисъ для сѣти тригольниковъ, тогда можно выбрать на возвышенностяхъ двѣ точки, видимыя одна отъ другой и въ разстояніи другъ отъ друга на 75 или 100 верстъ, онѣ должны быть почти на одномъ меридіанѣ. Широты обѣихъ точекъ и истинные меридіаны узнаются по правиламъ § 42 и берется въ каждой точкѣ азимутъ линіи, ихъ соединяющей: по уравненію (1.) примѣчанія къ § 33 отыскивается длина m одной минуты меридіана при средней широтѣ между широтами выбранныхъ точекъ; затѣмъ длина базиса получится довольно точно, если умножить длину минуты на число минутъ, заключающихся въ разности широтъ обѣихъ точекъ, и на секансъ средняго азимута.

Тригонометрическія вычисленія при съемкѣ сѣтью треугольниковъ состоятъ всегда въ опредѣленіи двухъ сторонъ треугольника по данной третьей сторонѣ и всѣмъ его угламъ: они производятся въ малыхъ треугольникахъ по правиламъ плоской тригонометріи (§ 33 уравненія (35.) и (35 А), треугольники большаго размѣра со сторонами болѣе 10 верстъ вычисляются по правиламъ сферической тригонометріи (§ 33 уравненія (59.) или (74.) и (75.) или (76.)

Вотъ нѣсколько замѣчаній, относящихся къ производству этой съемки:

I. *Неудобными треугольниками* считаются такіе, въ которыхъ есть углы менѣе 30^0 или болѣе 120^0; ихъ должно избѣгать при этой съемкѣ, какъ и при съемкѣ цѣпью и по той же самой причинѣ (§ 26).

II. *Повѣрка угловъ.* Для того чтобы можно было повѣрять углы, надобно измѣрять ихъ всѣ три въ каждомъ треугольникѣ; сумма угловъ должна быть равна 180^0 съ прибавленіемъ избытка, который опредѣляется по уравненію (58.) или (58 А.) § 33. Погрѣшность, если не велика, разлагается на всѣ три угла по уравненію (79.) § 33.

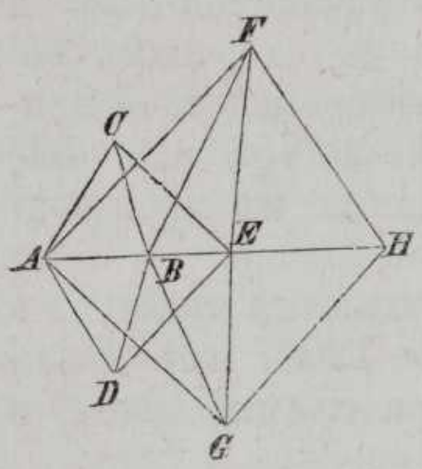
Когда многоугольникъ образованъ на землѣ очень длинными линіями, то сумма его угловъ повѣряется тѣмъ же способомъ, а именно она должна быть равна 180^0, повтореннымъ столько разъ сколько сторонъ безъ двухъ, съ прибавленіемъ сферическаго избытка, который вычисляется, какъ для треугольника, раздѣленіемъ площади многоугольника на квадратъ земнаго радіуса и на синусъ 1 секунды или по уравненію (58.) § 33.

III. *Повѣрка сторонъ.* Въ сѣти треугольниковъ всегда бываютъ стороны, которыхъ длина можетъ быть опредѣлена по даннымъ, независимымъ отъ общей съемки, этимъ обстоятельствомъ надобно всегда пользоваться для повѣрки какъ снятыхъ угловъ, такъ и произведенныхъ вычисленій.

IV. *Продолженіе базиса.* Въ слѣдствіе необходимости измѣрять основаніе по мѣстности почти горизонтальной, оно бываетъ обыкновенно короче другихъ сторонъ сѣти и крайнія его точки рѣдко бываютъ на довольно высокихъ мѣстахъ для того, чтобы можно было съ нихъ видѣть другія точки сѣти. Такой недостаточной длины базисъ можно продолжить провѣшиваніемъ его далѣе въ одну или обѣ стороны до надлежащей длины или до возвышенныхъ то-

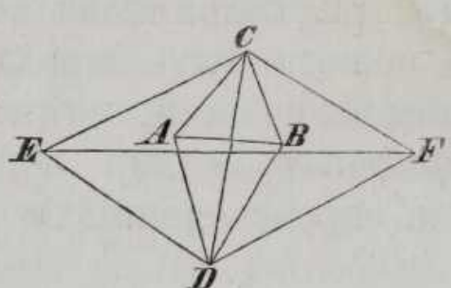
ченъ мѣстности: длина продолженія вычисляется по измѣреннымъ угламъ.

На чер. 34. AB есть измѣренная часть базиза, BE его продолженіе. Надобно выбрать въ сторонѣ такую точку C, чтобы триугольники ABC и BCE были удобны; измѣрить три угла каждаго изъ этихъ триугольниковъ; по угламъ ACB и CAB и сторонѣ AB, вычислить BC; по этой линіи и угламъ BEC и BCE найти BE. Для повѣрки надобно по другую сторону основанія взять точку D и рѣшить по новымъ даннымъ триугольники ABD и BDE. Можно еще далѣе продолжить основаніе, до H напримѣръ, взявши двѣ вспомогательныя точки F и G, съ которыхъ опредѣлить углы между линіями направленными на A, B, E и H; чѣмъ больше будетъ снято угловъ, тѣмъ болѣе возможности повѣрять дѣйствія.

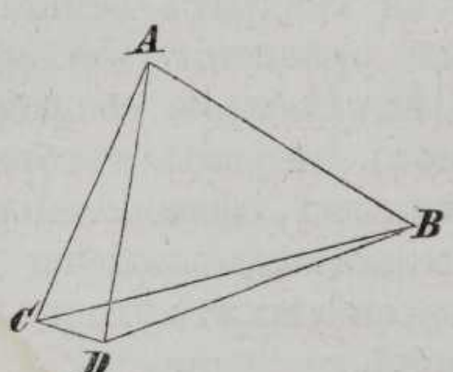


Чер. 34.

V. *Увеличеніе триугольниковъ.* Когда продолженіе основанія оказывается неудобнымъ по обстоятельствамъ мѣстности, тогда можно постепенно перейти отъ малыхъ къ большимъ триугольникамъ, избѣгая очень острыхъ угловъ, слѣдующимъ способомъ: на чер. 35. AB есть базисъ, измѣренный непосредственно; по сторонамъ его выбираются двѣ точки C и D такія, чтобы триугольники ABC и ABD



Чер. 35.



Чер. 35 а.

были удобные; стороны ихъ надобно вычислить по измѣреніи всѣхъ ихъ угловъ, и потомъ вычислить сторону CD, которую принять за базисъ для вычисленія новыхъ триугольниковъ CFD и EDC, по которымъ получится разстояніе EF достаточной длины для того, чтобы служить основаніемъ сѣти большихъ триугольниковъ.

VI. *Приведеніе угла къ центру стана.* Иногда случается что теодолитъ можно поставить не въ центрѣ стана C (чер. 35а), а близко къ нему въ точкѣ D; тогда измѣряются углы CDA и CDB, которыхъ разность есть уголъ ADB; измѣряется также длина линіи CD, а длина линій AC и BC вычисляется приблизительно, считая уголъ ACB равнымъ ADB. За тѣмъ величина угла ACB опредѣлится по формулѣ

$$ACB = ADB - 206\,264'',8 \times CD \left\{ \frac{\text{Sin CDA}}{AC} - \frac{\text{Sin CDB}}{BC} \right\} \quad \ldots(1.)$$

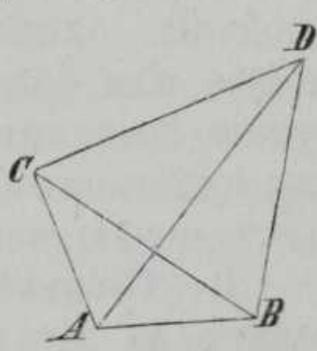
Углы CDA и CDB считаются вправо отъ линіи DC и имѣютъ отрицательные синусы, если превосходятъ 180^0.

41. Большая продольная съемка. Вотъ нѣсколько дополненій къ тому, что было сказано объ этомъ предметѣ въ § 12.

I. *Повѣрка величины линій и угловъ.* Боковые пункты F, G, H (чер. 3) обыкновенно неудобны для установки угломѣрныхъ инструментовъ, такъ что можно измѣрять углы по большей части только на станахъ A, B, C; для повѣрки угловъ перелома основной линіи и длины ея частей AB, BC, CD, кромѣ угловъ ABC, BCD и пр. опредѣляются углы между частями оси съемки и направленіями на F, G, H.

Въ треугольникѣ ABF по даннымъ: сторонѣ AB и угламъ FAB и FBA вычисляется сторона BF; по этой сторонѣ и угламъ FBC и FCB вычисляется въ треугольникѣ FBC сторона BC, если она выйдетъ согласна съ дѣйствительнымъ ея измѣреніемъ, то съемка вѣрна; тоже дѣлается и для другихъ сторонъ.

II. *Препятствія на основной линіи* проходятся такъ какъ описано въ § 27 только на второстепенныхъ линіяхъ; если же они встрѣчаются на основной линіи, то должно употребить способъ, изложенный въ статьѣ IV § 40 объ удлиненіи основанія. На чер. 34. BE можетъ представлять препятствіе.



Чер. 36.

На чер. 36. CD есть неприступное разстояніе: чтобы узнать его длину надобно выбрать двѣ дочки A и B такъ, чтобы разстояніе между ними можно было измѣрить, чтобы изъ нихъ видны были точки C и D и чтобы

образующіеся треугольники не имѣли угловъ меньшихъ 30^0; на мѣстѣ измѣряются длина линіи AB и величина угловъ $CAD=\alpha$, $DAB=\beta$, $ABC=\gamma$, $CBD=\delta$. Если положить

$$\frac{\sin(\gamma+\delta)\sin(\alpha+\beta+\gamma)}{\cos\gamma.\ \sin(\beta+\gamma+\delta)}=\operatorname{tang}\varphi;$$

$$\frac{4\sin\gamma\ \sin(\gamma+\delta)\sin(\alpha+\beta+\gamma)\cos^2\varphi}{\sin^2(\gamma-\varphi)\sin(\beta+\gamma+\delta)}\sin^2\frac{\alpha}{2}=\operatorname{tang}^2\Theta$$

то $$CD=AB\times\frac{\sin(\gamma-\varphi)}{\cos\varphi.\ \cos\Theta\sin(\alpha+\beta+\gamma.)}$$

42. Время. Меридіанъ. Широта. Долгота. Для того, чтобы назначить на планѣ истинный меридіанъ надобно опредѣлить азимутъ одной изъ частей основной линіи, хотя и не съ тою степенью точности, какая требуется при астрономическихъ наблюденіяхъ; въ тоже время можно повѣрить часы, поставленные по среднему или звѣздному времени. Переходъ отъ однаго изъ этихъ временъ къ другому производится по данному звѣздному времени въ средній полдень и зная что 1 часъ звѣздный равенъ 1 часу среднему уменьшенному на $9''$, 8296, а 1 часъ средній равенъ одному звѣздному увеличенному на $9''$, 8565.

Сперва надобно, установивши теодолитъ, оріентировать его или дать его лимбу такое положеніе, чтобъ нуль его былъ на основной линіи или той линіи, которой азимутъ опредѣляется; для этого совмѣщаютъ нуль однаго изъ ноніусовъ съ нулемъ лимба и поворачиваютъ весь лимбъ такъ, чтобы центръ сѣтки былъ наведенъ на сигналъ основной линіи, въ этомъ положеніи лимбъ закрѣляютъ. Для наблюденія солнца надобно передъ очкомъ трубы поставить темное или солнечное стекло, для наблюденія звѣздъ ночью нужно поставить передъ предметнымъ стекломъ зеркальцо или илюминаторъ и лампу, чтобы освѣтить волоски, которыхъ ночью не видно.

I. *Соотвѣтствующія высоты.* Трубу теодолита наводятъ на звѣзду, когда она приближается къ меридіану, замѣчаютъ время по звѣзднымъ часамъ, когда она проходитъ чрезъ центръ сѣтки, закрѣпляютъ отвѣсный кругъ, и читаютъ показаніе ноніуса. Послѣ прохода звѣзды черезъ меридіанъ, за нею слѣдятъ и когда высота ея станетъ

приближается къ той, при которой сдѣлано первое наблюденіе, перемѣщаютъ алидаду, не трогая отвѣснаго круга; смотрятъ на звѣзду, подвигая постепенно алидаду и когда звѣзда снова придетъ на центръ сѣтки, замѣчаютъ время и читаютъ показаніе ноніуса: среднее между двумя прочитанными показаніями ноніуса соотвѣтствуетъ меридіану, т. е. если указатель ноніуса поставить по среднему показанію, то труба будетъ въ меридіанѣ. Среднее между звѣздными временами наблюденій должно быть равно прямому восхожденію звѣзды; если часы поставлены были по другому меридіану, то разность между среднимъ ихъ показаніемъ и прямымъ восхожденіемъ есть *долгота* мѣста наблюденія относительно меридіана часовъ; когда прямое восхожденіе больше средняго времени наблюденія, то долгота эта есть восточная; она выражается вовремени, а для полученія ея въ дугѣ или въ градусахъ, надобно время умножить на 15.

При наблюденіи солнца должно въ первый разъ смотрѣть на лѣвый его край, въ второй же разъ на правый; среднее отсчитываніе ноніуса, соотвѣтствующее меридіану, должно поправить отрицательно или вычесть изъ него погрѣшность

$$\tfrac{1}{2}\,\Delta\delta \sec l \operatorname{cosec} \tfrac{1}{2}\,p \ldots\ldots (1.)$$

если солнце приближается къ сѣверному полюсу, между 22 Декабремъ и 22 Іюнемъ новаго стиля. Здѣсь $\Delta\delta$ есть часовое измѣненіе склоненія солнца, равное 59″ во время равноденствія и измѣняющееся пропорціонально косинусу прямаго восхожденія, которое увеличивается среднимъ числомъ на 59′, 8″ въ дугѣ для каждаго дня начиная со дня весенняго равноденствія, когда оно нуль; l есть широта мѣста, которая берется съ географической карты; p угловое движеніе солнца между наблюденіями.

Среднее время двухъ наблюденій солнца должно быть равно полудню или 12 часамъ увеличеннымъ или уменьшеннымъ уравненіемъ времени, которое есть въ календарѣ для каждаго дня; когда средніе часы, по которымъ наблюдаютъ, поставлены по меридіану какого нибудь мѣста, то разность между временемъ, расчитаннымъ по наблюденіямъ, и показаніемъ часовъ есть относительная долгота мѣстъ.

II. *Зенитальныя разстоянія.* Если l есть широта мѣста, опредѣленная съ географической карты вѣрно до 1′,

δ склоненіе звѣзды, z зенитальное разстояніе звѣзды, исправленное отъ рефракціи, которая всегда поднимаетъ предметы; A азимутъ звѣзды во время наблюденія, то

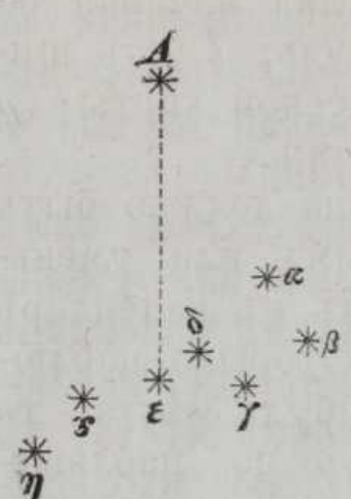
$$\sin\frac{A}{2}=\sqrt{\frac{\sin\left(\frac{z+l-\delta}{2}\right)\sin\left(\frac{z+l+\delta}{2}\right)}{\cos l\sin z}}\quad\ldots(2.)$$

Средняя величина рефракціи равна произведенію 58″ на тангенсъ зенитальнаго разстоянія; на зенитальныя разстоянія большія 75^0 нельзя полагаться. Полученную изъ этой формулы величину A должно придать къ прочитанному при наблюденіи отсчитыванію горизонтальнаго лимба, если звѣзда еще не прошла меридіана; искомый азимутъ равенъ разности между 360^0 и этою суммою.

Въ тоже время можно найти часовой уголъ звѣзды

$$\sin\frac{p}{2}=\sqrt{\frac{\sin\left(\frac{l+\delta+z}{2}\right)\sin\left(\frac{l+\delta-z}{2}\right)}{\cos l\cos\delta}}\quad\ldots(3.)$$

раздѣливъ полученное отсюда p на 15 и придавъ или вычтя это изъ звѣзднаго времени наблюденія, должны имѣть прямое возхожденіе звѣзды, если часы вѣрны, т. е. имѣютъ правильный ходъ и показываютъ О вовремя прохожденія точки весенняго равноденствія черезъ меридіанъ мѣста. Когда часы поставлены по другому меридіану но имѣютъ правильный ходъ, то по этому способу найдется долгота мѣста.



Чер. 37.

III. *Полярная звѣзда*, A (чер. 37), послѣдняя въ хвостѣ малой медвѣдицы, когда приходитъ на меридіанъ, то бываетъ на одномъ кругѣ высоты со звѣздою ε или *аліотъ*, первою въ хвостѣ большой медвѣдицы; этимъ можно воспользоваться для опредѣленія меридіана: надобно повѣсить отвѣсъ на открытомъ мѣстѣ и замѣтить точку, откуда должно зайти, чтобы онъ закрылъ въ одно время и полярную звѣзду и аліотъ; прямая идущая отъ этой точки къ отвѣсу есть меридіанъ.

Въ таблицѣ приложенной въ концѣ этой части назначено средное время прохожденія полярной звѣзди чрезъ ме-

ридіанъ; въ данное по этой таблицѣ время на среднихъ часахъ, подобно навести трубу на полярную звѣзду и труба будетъ въ плоскости меридіана; такъ какъ эта звѣзда движется очень медленно, то можно брать часы невѣрные даже на $^1/_4$ часа, ошибка въ опредѣленіи меридіана подъ широтою 55^0 не превзойдетъ $8''$, въ меньшихъ широтахъ она еще меньше.

IV. *Опредѣленіе широты.* Наблюдаютъ z зенитальное разстояніе звѣзды во время ея прохожденія чрезъ меридіанъ и исправляютъ его отъ рефракціи, если δ есть склоненіе звѣзды, то широта будетъ

$$l = 180 - (z + \delta) \ldots . (4.)$$

когда звѣзда между полюсомъ и горизонтомъ.

$$l = \delta - z \ldots . . (4\,A.)$$

когда она между зенитомъ и полюсомъ.

$$l = \delta + z \ldots . . (4\,B.)$$

когда она между зенитомъ и экваторомъ.

$$l = z - \delta \ldots . . (4\,C.)$$

для звѣздъ южнаго полушарія, проходящихъ меридіанъ между экваторомъ и горизонтомъ.

По причинѣ мгновенности прохожденія звѣздъ чрезъ меридіанъ и возможности сдѣлать при наблюденіи ошибку предпочитаютъ опредѣлять зенитальныя разстоянія звѣздъ близь меридіана и вычислять погрѣшность, которая вычитается изъ опредѣленнаго наблюденіемъ разстоянія чтобъ получить меридіональное, когда звѣзда въ верхнемъ прохожденіи, и придается когда она въ нижнемъ. Если z' замѣченное зенитальное разстояніе, поправленное рефракціею; p часовой уголъ звѣзды, очень малый, или разность между звѣзднымъ временемъ по вѣрнымъ мѣстнымъ часамъ и прямымъ восхожденіемъ звѣзды, то погрѣшность

$$\Delta z = \frac{p^2}{2} \cdot \frac{\cos\delta \,.\, \cos l}{\sin\left(z' + \frac{\Delta z}{2}\right)} \,.\, \sin 1'' \ldots . . (5.)$$

l широта мѣста взятая съ карты, δ склоненіе звѣзды Сначала принимаютъ Δz равнымъ нулю въ знаменателѣ, по вычисленной величинѣ погрѣшности и уравне-

ніямъ (4.) исправляютъ широту l; въ формулу (5.) вставляютъ исправленную величину l въ числителя и вычисленную прежде Δz въ знаменателѣ, тогда получится новая болѣе точная величина погрѣшности Δz.

Когда двѣ точки земной поверхности имѣютъ одинакую широту l, но разныя долготы, которыхъ разность есть p, то уголъ L между меридіанами опредѣлится изъ формулы

$$\sin \frac{L}{2} = \sin \frac{p}{2} \sin l \ldots . (6.)$$

43. Нанесеніе на бумагу. Лучшій способъ нанесенія угловъ на бумагу состоитъ въ вычисленіи величины сторонъ тѣхъ триугольниковъ, которымъ они принадлежатъ и въ начертаніи триугольниковъ на бумагѣ по ихъ сторонамъ, какъ это дѣлается при нанесеніи триугольниковъ, снятыхъ цѣпью (§ 30).

Для нанесенія этимъ способомъ отдѣльнаго угла, какъ напримѣръ азимута основной линіи, надобно изъ центра стана, нанесеннаго на бумагу, описать окружность возможно большимъ радіусомъ и на ней отложить хорду наносимаго угла, хорда эта равна удвоенному произведенію радіуса круга на синусъ половины даннаго угла.

Для скорѣйшаго нанесенія угловъ безъ большой точности, напримѣръ угловъ второстепенныхъ триуголниковъ, употребляются инструменты, называемы *транспортирами:* они бываютъ разнаго устройства.

Самый вѣрный транспортиръ есть *круговой:* это лимбъ раздѣленный на полуградусы съ алидадою, при которой есть два ноніуса, вѣрные до одной минуты. По срединѣ инструмента находится небольшое стекло, полдюйма въ діаметрѣ, на немъ проведены двѣ черты подъ прямымъ угломъ одна къ другой, онѣ пересѣкаются въ центрѣ лимба. На концахъ алидады находятся небольшіе рычаги на шарнирахъ, на концахъ ихъ есть острыя шпильки, которыми назначаются на бумагѣ точки; линія соединяющая шпильки проходитъ чрезъ центръ инструмента; чтобы шпильки не касались бумаги подъ рычагами есть пружины.

Для нанесенія на бумагѣ даннаго угла ставятъ ноніусъ алидады такъ, чтобы онъ показывалъ величину этаго угла, кладутъ транспортиръ на бумагу центромъ на вершину угла, а нулемъ лимба по той прямой, при которой наносится уголъ. Потомъ надобно прижать шпильку къ бумагѣ,

чтобъ она наколола точку; для повѣрки назначается другою шпилькою еще точка, потомъ снимаютъ транспортиръ и чрезъ наколотыя шпильками точки и вершину угла проводятъ прямую линію.

Когда есть подъ рукою таблицы тригонометрическихъ линій, тогда можно наносить углы по ихъ тангенсамъ: отложивъ по данной сторонѣ угла нѣсколько дюймовъ отъ вершины, возставляютъ перпендикуляръ, по которому откладывается произведеніе тогоже числа дюймовъ на тангенсъ наносимаго угла. Такъ какъ тангенсы угловъ бо́льшихъ 45^0 болѣе единицы, то слѣдуетъ всегда приводить данный уголъ къ такому, который былъ бы менѣе 45^0; отложивъ сначала 90^0 посредствомъ перпендикуляра возставленнаго по правиламъ геометріи, при этомъ перпендикулярѣ построить съ той или другой его стороны разность между даннымъ угломъ и прямымъ, если данный уголъ заключается между 45^0 и 135^0; когда уголъ болѣе 135^0, то наносится его дополненіе до 180^0.

44. Проходная съемка малыхъ участковъ описана въ § 12 статьѣ в, когда эти участки извилисты, и имѣютъ большую длину при очень малой ширинѣ. Тутъ также по сторонамъ основной линіи, какъ и при большой съемкѣ, берутся точки, и отъ поворотовъ или главныхъ пунктовъ основной линіи берутся углы на боковыя точки, на каждую боковую точку должно визи́ровать по крайней мѣрѣ съ трехъ пунктовъ основной линіи. Углы на боковыя точки служатъ для повѣрки длины сторонъ и угловъ основной линіи, но повѣрка производится не высчисленіемъ, а нанесеніемъ на бумагу; три линіи, направленныя на одинъ предметъ, когда нанесены на бумагу, должны пересѣчься въ одно́й точкѣ.

Въ дефилеяхъ, каковы хребты горъ, лѣсныя дороги, улицы населенныхъ мѣстъ, подземныя галлереи, нѣтъ возможности брать точки по сторонамъ основной линіи; тутъ надобно ограничиваться измѣреніемъ угловъ на ея поворотахъ и длины частей ея между поворотами. Въ такихъ случаяхъ надобно давать линіи форму сомкнутаго многоугольника, возвращаясь назадъ къ починному пункту. Повѣрка снятыхъ угловъ производится сложеніемъ ихъ вмѣстѣ, сумма должна быть равна произведенію 180 на число сторонъ безъ двухъ; если есть въ многоугольникѣ входящіе углы, то въ сложеніе должно вводить разность между ними

и 360°, т. е. надобно всегда брать углы внутренніе, хотя бы они были больше двухъ прямыхъ.

При нанесеніи угловъ на бумагу бываютъ погрѣшности тѣмъ большія, чѣмъ несовершеннѣе употребляемые для этаго инструменты, какъ напримѣръ обыкновенный транспортиръ; эти погрѣшности накопляются и двѣ, довольно отдаленныя одна отъ другой части основной линіи, оказываются имѣющими на бумагѣ относительное направленіе вовсе несходное съ тѣмъ, какое онѣ имѣютъ на мѣстѣ. Чтобъ избѣжать этаго накопленія погрѣшности при нанесеніи на бумагу, можно вычислить углы, которые составляетъ каждая часть основной линіи съ однимъ какимъ нибудь опредѣленнымъ направленіемъ, на примѣръ ихъ магнитные азимуты, по данному азимуту начальной части. Если всѣ углы на поворотахъ основной линіи считались въ правую сторону, то можно употребить слѣдующую формулу.

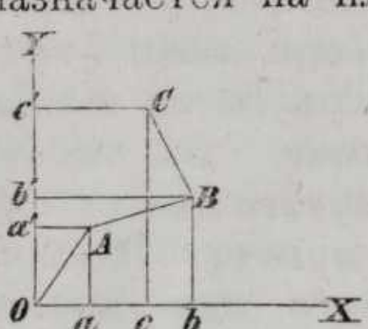
$$A_n = A_{n-1} + M - 180^0 \ldots\ldots (1.)$$

здѣсь A_{n-1} и A_n суть азимуты двухъ частей основной линіи, M уголъ поворота считаемый въ право отъ первой линіи.

При нанесеніи на бумагу въ вершинѣ каждаго поворота проводится сначала магнитный меридіанъ, а потомъ наносится уголъ, опредѣленный по этой формулѣ, вмѣсто снятаго на мѣстѣ угла M. Если на бумагѣ многоугольникъ сомкнется, то съемка нанесена вѣрно.

Самая скорая съемка производится буссолью, ею опредѣляютъ азимуты всѣхъ линій, которыя на бумагѣ наносятся по этимъ азимутамъ. По причинамъ изложеннымъ въ § 39 буссоль можно употреблять только при глазомѣрной съемкѣ и при съемкѣ подробностей.

45. Нанесеніе посредствомъ координатъ есть самый точный способъ нанесенія съемки, потому что каждая точка назначается на планѣ независимо отъ другихъ, и потому нѣтъ накопленія погрѣшностей. Нанесеніе это состоитъ въ томъ, что выбираютъ двѣ взаимно перпендикулярныя линіи, каковы OX и OY на чер. 38; вычисляютъ координаты каждой точки съемки относительно этихъ линій, принимая ихъ за оси, и потомъ назначаютъ на нихъ длины координатъ; возставляютъ изъ отмѣченныхъ точекъ перпендикуляры и гдѣ эти пер-



Чер. 38.

пендикуляры пересѣкаются, тутъ будутъ точки съемки, нанесенныя на бумагу. Когда направленіе истиннаго меридіана извѣстно, то принимаютъ его за одну изъ осей координатъ, а другую проводятъ пернендикулярно къ нему; починный пунктъ съемки принимается большею частью за начало координатъ.

Если a, b, c и т. д. длина линій съемки OA, AB, BC...; A, B, C ихъ азимуты; x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3 координаты точекъ съемки A, B, C и т. д., то

$$x_1 = a \sin A,\ x_2 = x_1 + b \sin B,\ x_3 = x_2 + c \sin C.$$

$$y_1 = a \cos A,\ y_2 = y_1 + b \cos B,\ y_3 = y_2 + c \cos B.$$

вообще $$x = \Sigma l \sin L \quad y = \Sigma l \cos L \ldots\ldots (1.)$$

Длину каждой линіи надобно умножить на синусъ и косинусъ ея азимута и полученныя произведенія придать къ координатамъ начальной точки линіи, чтобы имѣть координаты послѣдней ея точки: тутъ разъумѣется алгебрическое сложеніе. Произведенія, объ которыхъ говорится, суть проложенія линій съемки на оси координатъ, они могутъ быть положительныя или отрицательныя, что зависить отъ направленія линій относительно странъ свѣта или отъ величины ихъ азимутовъ: чтобы не ошибаться въ знакахъ надобно помнить, что синусы азимутныхъ угловъ отъ 180^0 до 360^0 и косинусы угловъ отъ 90^0 до 270^0 имѣютъ отрицательные знаки.

Такими координатами опредѣляется положеніе горизонтальнаго проложенія каждой точки мѣстности и таблица содержащая величины этихъ координатъ можетъ замѣнить планъ: но для полнаго представленія мѣстности цифрами нужно еще имѣть возвышенія точекъ мѣстности надъ тѣмъ уровнемъ, къ которому она отнесена; это будутъ третьи координаты, онѣ опредѣляются нивелированіемъ.

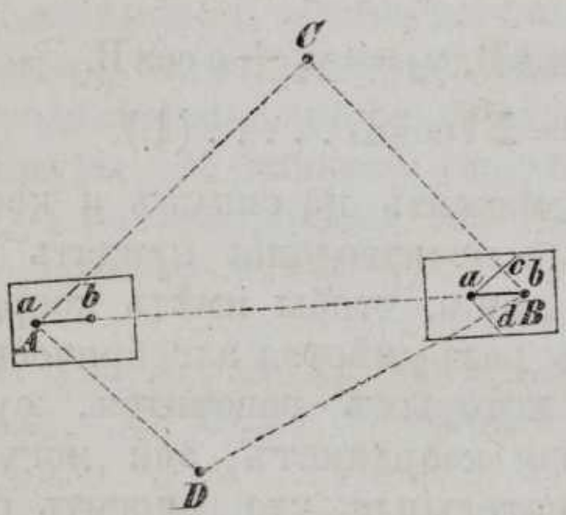
46. Мензулу или планшетъ составляетъ квадратная доска, около 20 дюймовъ въ сторонѣ, съ наклееной на ней бумагой; она поддержана штативомъ, можетъ вращаться въ горизонтальной плоскости, и быть приведена въ горизонтальное положеніе подъемными винтами по уровню, который на нее накладывается; при оси вращенія есть становой винтъ и тангентъ.

При доскѣ имѣется *кипрегель*; это мѣдная линейка съ столбикомъ по срединѣ, онъ поддерживаетъ горизонтальную

ось вращенія зрительной трубы, въ которой какъ и во всѣхъ трубахъ геодезическихъ инструментовъ есть сѣтка.

Мензула замѣняетъ угломѣрные инструменты и отличается отъ нихъ тѣмъ, что углы наносятся ею прямо на бумагу, безъ предварительнаго измѣренія ихъ величины въ градусахъ; этимъ избѣгаются ошибки при нанесеніи угловъ и работа производится скорѣе, но мензулу нельзя употреблять тамъ, гдѣ требуется большая точность.

Для нанесенія на мензулѣ угла BAC (чер. 39.) ее ставятъ въ вершинѣ угла, приводятъ въ горизонтальное положеніе и назначаютъ на бумагѣ точку a на одной отвѣсной линіи съ центромъ стана A; положивъ кипрегель на доску въ приблизительномъ направленіи на B и въ разстояніи около полдюйма отъ точки a, визируютъ по трубѣ кипрегеля на B, наводя центръ сѣтки на колъ, поставленный въ этой точкѣ; отнявъ глазъ отъ очка трубы, смотрятъ въ какомъ разстояніи находится край линейки кипрегеля отъ точки a, такое же разстояніе откладываютъ у другаго конца линейки, и перемѣщаютъ ее параллельно самой себѣ, придвигая ее къ a. Положеніе кипрегеля надобно повѣрить, посмотрѣвъ въ трубу дѣйствительно ли центръ сѣтки покрываетъ колъ точки B; малое отклоненіе, которое можетъ случиться, надобно исправить. Затѣмъ по краю линейки проводится черта остро очиненнымъ карандашемъ: это будетъ горизонтальное проложеніе стороны AB даннаго угла; такимъ же точно образомъ назначается на доскѣ проложеніе стороны AC и на бумагѣ будетъ нанесена величина угла BAC или вѣрнѣе горизонтальнаго его проложенія.



Чер. 39.

Съемка этимъ инструментомъ производится слѣдующимъ образомъ: на мѣстѣ выбираютъ линію AB, которая будетъ служить основаніемъ съемки, съ концовъ ея должно быть видно возможно болѣе точекъ мѣстности, которыя надобно нанести на планъ, длину этой линіи должно измѣрить. Въ точкѣ A ставятъ мензулу и *оріентируютъ* ее по странамъ свѣта, т. е. поворачиваютъ такъ, чтобы край доски

былъ параллеленъ меридіану: визируютъ на конецъ основанія, на точку B, и на всѣ точки мѣстности, каковы C, D и т. д.; измѣренную длину основанія откладываютъ по масштабу на бумагѣ отъ a до b. Мензулу переносятъ въ точку B, тамъ ее оріентируютъ по линіи BA: для этаго надобно, послѣ установки мензулы въ горизонтальномъ положеніи, приложить кипрегель къ линіи ba и, ослабивъ становой винтъ, поворачивать доску такъ, чтобъ увидѣтъ въ трубу кипрегеля колъ, находящійся въ точкѣ A: послѣ наведенія трубы на A надобно закрѣпить становой винтъ, посмотрѣть снова въ трубу и, если центръ сѣтки отклонился отъ кола A, поправить положеніе доски тангентомъ.

Визируя на точки C, D, и пр. изъ B, назначатъ на доскѣ новыя линіи, которыя пересѣкутъ проведенныя прежде въ точкахъ c, d; это будутъ горизонтальныя проложенія точекъ C, D, потому что триугольники abc, abd на бумагѣ и ABC, ABD на мѣстѣ подобны между собою.

На правильную натянутость бумаги на доскѣ имѣетъ вліяніе состояніе атмосферы, а именно степень ея сырости и сухости, при перемѣнахъ въ этомъ состояніи бумага вздувается, ложится горбами и т. п.; для устраненія этаго можно наклеивать ее на холстъ, который прибивать къ доскѣ; или заднюю сторону бумаги до наклейки на доску покрыть яичнымъ бѣлкомъ.

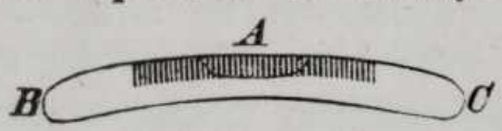
Мензула больше употребительна при топографической, нежели при инженерной съемкѣ.

ГЛАВА IV.

НИВЕЛИРОВАНІЕ.

47. Назначеніе на землѣ линіи прорѣза. Для составленія продольнаго прорѣза поверхности земли надобно назначить на ней линію этаго прорѣза кольями, которые ставятся на пересѣченіяхъ ея съ ручьями, дорогами, межами и т. д., главныя точки, отмѣчаемыя на мѣстѣ, суть тѣ, гдѣ поверхность земли представляетъ изгибы по линіи прорѣза или *оси нивелировки* т. е. гдѣ *уклоны* ея измѣняются. Назначеніе это дѣлается согласно съ составленнымъ предварительно планомъ, на которомъ означены разстоянія оси отъ разныхъ предметовъ мѣстности: эту работу нивелирующій поручаетъ обыкновенно своему помощнику. Когда нѣтъ плана, или на немъ не назначена ось, по которой нивелировать, или при осмотрѣ мѣстности нивелировщикъ находитъ нужнымъ отклонить ось отъ назначеннаго по плану направленія, тогда во время назначенія оси дѣлаются на мѣстѣ всѣ тѣ измѣренія, которыя нужны для того, чтобы нанести ее на планъ.

48. Уровень съ воздушнымъ пузыркомъ есть стекляная согнутая по дугѣ круга трубка BC (чер. 40), налитая спиртомъ, сѣрнымъ эфиромъ или другою жидкостью, но не наполненная имъ, такъ что въ ней остается пустое мѣсто, называемое *воздушнымъ пузыркомъ:* трубка герметически закрыта на обоихъ концахъ.



Чер. 40.

Пузырекъ занимаетъ всегда высшее мѣсто въ этой трубкѣ, и касательная къ поверхности ея, проведенная въ средней точкѣ пузырка, всегда горизонтальна: когда пузырекъ находится по срединѣ трубки, то линія BC, соединяющая ея концы или *ось уровня* горизонтальна; когда пузырекъ уклонился въ сторону отъ средины трубки, то ось уровня приняла наклонное положеніе. Для того чтобы узнавать углы наклоненія оси уровня къ горизонту на поверхности трубки бываютъ назначены дѣленія въ одну двадцатую долю дюйма или крупнѣе, надпись на нихъ идетъ отъ средины къ краямъ.

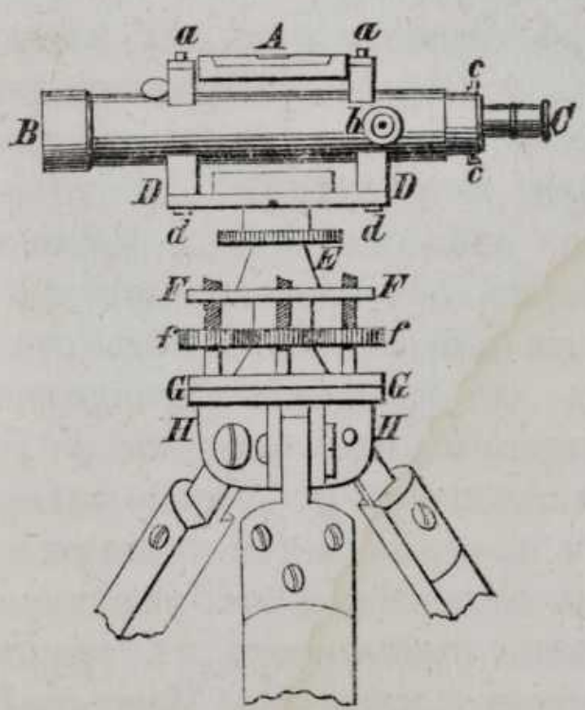
Если пузырекъ находясь по срединѣ уровня занимаетъ дѣленія означенные цифрою m, а отойдя въ сторону займетъ дѣленія q и p, то $\frac{p+q}{2}$ или $p-m$ (потому что $p-q=2m$ есть длина пузырка, которая всегда одинакова, если трубка правильно согнута) есть величина отклоненія пузырка отъ средины уровня; уголъ наклоненія оси уровня къ горизонту есть

$$\Theta = 206264'',\ 8\,\frac{p-m}{R}$$

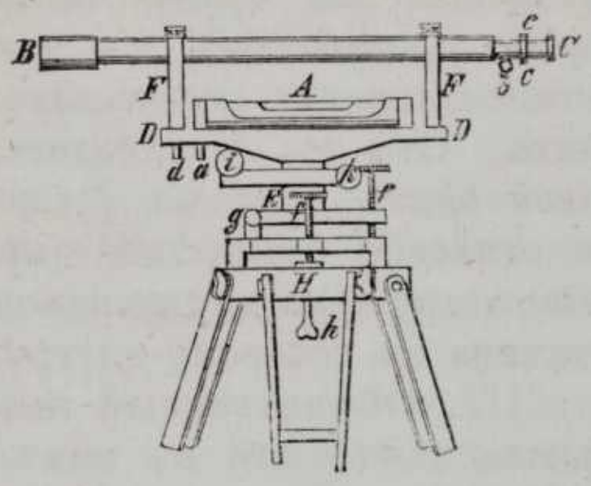
гдѣ R есть радіусъ кривизны трубки, опредѣляемый наблюденіемъ, онъ долженъ быть выраженъ въ тѣхъ же единицахъ какъ p и m.

Чѣмъ радіусъ больше, тѣмъ уровень *чувствительнѣе*, т. е. тѣмъ точнѣе опредѣляется уголъ Θ.

Нивелиръ (чер. 41 и 42) и *рейка* суть инструменты,



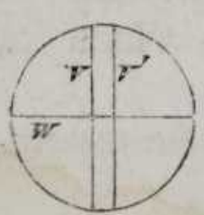
Чер. 41.



Чер. 42.

которыми опредѣляется возвышеніе однихъ точекъ надъ другими. Нивелиры бываютъ разнаго устройства: вотъ главные ихъ типы:

I. Короткій Нивелиръ Гравата (чер. 41): *A* есть уровень, прикрѣпленый винтами *a* къ зрительной трубѣ *BC*, винты эти служатъ для приведенія оси уровня въ положеніе параллельное оси трубы; маленькій кружокъ между предметнымъ стекломъ *B* и уровнемъ *A* есть поперечный уровень, по которому судятъ объ горизонтальности волоска *w* сѣтки (чер. 43). Сѣтка эта состоитъ изъ трехъ волосковъ, однаго горизонтальнаго *w*, и двухъ отвѣсныхъ *v* и *v'*; она помѣщена въ трубѣ между глазнымъ стекломъ *C* и предметнымъ *B* (чер. 41) и при кольцѣ ея есть винты *c*, *c* которыми можно ее перемѣщать выше, ниже, и въ стороны; шестерня *b* служитъ для выдвиганія предметнаго стекла. Труба упирается ножками въ алидаду *D D*, которая вертится на оси *E*; винты *d*, *d* служатъ для установки оси трубы въ положеніи перпендикулярномъ къ оси вращенія инструмента; на алидадѣ бываетъ иногда буссоль, которой O въ одной плоскости съ осью труби и находится со стороны предметнаго стекла. Подъ осью *E* находится верхняя *F* и потомъ нижняя доска *G* штатива, связанныя баксою, между ними помѣщены четыре подъемные винта *f*, *f* служащіе для приведенія оси инструмента въ отвѣсное положеніе, къ выступамъ *H* подъ нижнею доскою привинчены ножки штатива.



Чер. 43.

II. Въ Нивелирѣ Эрнста (чер. 42) труба *BC* лежитъ въ вилкахъ *F*, которыя упираются въ алидаду *DD*, при одной изъ вилокъ есть винтъ *d* для установки оси трубы параллельно оси *уровня A*, который прикрѣпленъ къ алидадѣ; винтомъ *a* ось уровня установливается перпендикулярно къ оси вращенія инструмента. Эта ось *E* находится подъ алидадою, *k* есть становой винтъ алидады, *i* тангентъ; ось вращенія приводится въ отвѣсное положеніе двумя подъемными винтами *f f*; вмѣсто другихъ двухъ находятся шарньеры *g*; *H* есть доска штатива, къ которому инструментъ прикрѣпляется винтомъ *h*.

III. Обыкновенный нивелиръ отличается отъ нивелира Эрнста тѣмъ, что въ немъ уровень привинченъ къ трубѣ и что подъемныхъ винтовъ четыре, какъ въ Нивелирѣ Гравата, но труба лежитъ въ вилкахъ, такъ что ее можно

поворачивать около ея оси, вынимать изъ вилокъ и перекладывать, также какъ и въ Нивелирѣ Эрнста.

49. Рейкою называется четырехгранный деревянный брусокъ шириною отъ 2 до $2^1/_2$ дюймовъ, раздѣленный на футы и сотыя ихъ доли, или на тысячныя доли сажени; она дѣлается складная съ шарньеромъ или выдвижная изъ трехъ коленъ, наибольшая высота рейки есть двѣ сажени; дѣленія назначены толстыми черными чертами, а надпись крупными цифрами, чтобы можно было издали ее читать. Рейку должно ставить всегда отвѣсно и для повѣрки отвѣснаго ея положенія бываетъ при ней или отвѣсъ или уровень съ воздушнымъ пузыркомъ. Нижній конецъ рейки обитъ мѣдью; ее ставятъ прямо на землю, но лучше употреблять желѣзный *башмакъ* (чер. 43 а), который забивается въ землю на томъ мѣстѣ, гдѣ нужно поставить рейку.



(Чер. 43а.)

На рейкахъ стараго устройства дѣленія назначались тонкими чертами, а надписи маленькими цифрами; по рейкѣ двигалась цѣль бѣлаго цвѣта съ чертою по срединѣ.

Если поставить въ одной точкѣ мѣстности нивелиръ, котораго труба находится въ горизонтальномъ положеніи, а въ другихъ двухъ точкахъ рейки, и глядя въ трубу прочитать противъ какихъ дѣленій реекъ приходится горизонтальный волосокъ, то можно узнать на сколько одна изъ точекъ, гдѣ стоятъ рейки, выше или ниже другой относительно уровня; для этаго надобно вычесть высоту одной рейки изъ высоты другой, остатокъ будетъ возвышеніе той точки, гдѣ была низшая рейка надъ точкою, гдѣ была высшая.

50. Установка и вывѣрка нивелира. I. *Установка* нивелира состоитъ въ томъ чтобы: 1. Поставить сѣтку объ общемъ фокусѣ обоихъ стеколъ, это дѣлается какъ въ теодолитѣ. 2. Поставить ось инструмента въ отвѣсное положеніе, тоже какъ въ теодолитѣ (см. §. 35). Для того чтобы не очень вертѣть подъемные винты, надобно прежде раздвинуть ножки такъ, чтобы наглазъ ось вращенія была отвѣсна.

II. *Вывѣрка* состоитъ въ 1. помѣщеніи центра сѣтки на оси трубы. Въ тѣхъ нивелирахъ, гдѣ труба перекладная, наводятъ одинъ изъ ея волосковъ на хорошо видную линію какаго нибудъ предмета, потомъ повертываютъ

трубу въ вилкахъ и если волосокъ трубы отошелъ отъ черты, на которую былъ направленъ, то половина этаго отклоненія уничтожается винтами c при сѣткѣ (чер. 42). Въ нивелирѣ Гравата съ не перекладною трубою это дѣлается такъ: отмѣриваютъ на землѣ два равныя разстоянія саженей по 40 или 50 въ одну прямую линію и назначаютъ такимъ образомъ три равноотстоящія одна отъ другой точки a, b и c. Посрединѣ между первыми двумя ставятъ нивелиръ и приводятъ его ось въ отвѣсное положеніе, читаютъ высоты a и b двухъ реекъ, поставленныхъ въ a и b; разность $a-b$ этихъ высотъ есть возвышеніе точки b надъ точкою a, и если буквою A назвать возвышеніе надъ какою нибудь горизонтальною плоскостью первой точки, то возвышеніе второй будетъ.

$$B=A+a-b \ldots\ldots (1.)$$

Такъ какъ погрѣшности въ высотакъ реекъ, произходящія отъ невѣрности инструмента, при равныхъ разстояніяхъ одинаковы и притомъ дѣлаются въ одну сторону, то разность $a-b$ будетъ вѣрна, не смотря на невѣрность высотъ a и b.

Потомъ нивелиръ ставится на срединѣ между b и c, а рейки въ точкахъ b и c; пусть высоты этихъ реекъ или показанія ихъ, соотвѣтствующія горизонтальному волоску будутъ b' и c', тогда высота точки c надъ горизонтальною плоскостью будетъ

$$C=B+b'-c=A+a+b'-b-c \ldots\ldots (2.)$$

Теперь надобно поставить нивелиръ за точкою a на самомъ ближайшемъ отъ нее разстояніи, на какомъ только можно читать показанія рейки въ трубу, привести его ось въ отвѣсное положеніе и прочесть показанія a'', b'' и c'' реекъ, поставленныхъ въ a, b и c; высоты точекъ b и c по этимъ новымъ даннымъ будутъ

$$B'=A+a''-b'',\ C'=A+a''-c'' \ldots\ldots (3.)$$

разность $C'-C$ должна быть вдвое болѣе разности $B'-B$, если центръ сѣтки находится на оси трубы. Если этаго нѣтъ, то винтами c, c при кольцѣ сѣтки ее поднимаютъ или опускаютъ; при $C'-C$ положительномъ и большемъ $2(B'-B)$ центръ сѣтки надобно поднять, а меньшемъ $2(B'-B)$ сѣтку надобно опустить; при $C'-C$ отрицательномъ надобно дѣйствовать на оборотъ.

2. Параллельность оси уровня съ осью зрительной трубы въ обыкновенномъ нивелирѣ, въ которомъ уровень прикрѣпленъ къ перекладной трубѣ узнается тѣмъ, что когда подъемными винтами пузырекъ поставленъ на средину уровня, трубу перекладываютъ въ вилкахъ глазнымъ стекломъ туда, гдѣ было предметное; если при этомъ перекладываніи трубы пузырекъ уровня отойдетъ отъ средины, то половину его отклоненія исправляютъ винтомъ при уровнѣ, а другую половину подъемными винтами.

Въ Нивелирѣ Эрнста эта повѣрка слѣдуетъ за удостовѣреніемъ въ томъ, что ось уровня перпендикулярна къ оси вращенія инструмента и дѣлается такъ: смотрятъ по трубѣ на рейку и замѣчаютъ ея показаніе, перекладываютъ трубу въ вилкахъ и оборачиваютъ нивелиръ, чтобы смотрѣть на туже рейку. Такъ какъ уровень перпендикуляренъ къ оси вращенія инструмента, то онъ сохранитъ свое горизонтальное положеніе, и если горизонтальный волосокъ не будетъ покрывать того же дѣленія рейки, что и прежде, то ось трубы не параллельна оси уровня и ее надобно опустить или поднять на половину разности между отсчитываніями реекъ винтомъ d (чер. 42.)

Когда въ Нивелирѣ Гравата ось зрительной трубы параллельна оси уровня, то разности $B' - B$ и $C' - C$ должны быть нулями или, что все равно, разности $a - b$ и $a'' - b''$ должны быть равны между собою, первая изъ нихъ есть вѣрная и потому надобно дѣйствовать подъемными винтами f, f (чер. 41) и привести трубу въ такое положеніе, при которомъ вторая разность сравняется съ первою; если вторая больше, то трубу надобно поднимать. При этомъ подниманіи трубы ось уровня отклонится отъ горизонтальнаго положенія, къ которому ее надобно снова привести винтами a при уровнѣ.

3. Перпендикулярность оси трубы и уровня къ оси вращенія узнается поворотомъ всей верхней части инструмента на 180^0, если при этомъ пузырекъ уровня отклонился отъ средины, то половина отклоненія уничтожается подъемными винтами f, а половина въ Нивелирѣ Гравата винтомъ d, а въ Нивелирѣ Эрнста винтомъ a. Въ послѣднемъ нивелирѣ надобно повѣрить послѣ этаго паралельность оси трубы съ осью уровня какъ сказано во (2.)

51. Употребленіе нивелира для опредѣленія относительной выоты двухъ точекъ земной поверхности состоитъ

въ установкѣ его въ равномъ разстояніи отъ нивелируемыхъ точекъ, приведеніи его оси въ отвѣсное положеніи и въ чтеніи тѣхъ дѣленій, которыя приходятся противъ горизонтальнаго волоска трубы на рейкахъ, поставленныхъ въ нивелируемыхъ точкахъ. Дѣленія, которыя читаются на рейкахъ, называются *высотами реекъ* или просто *рейками;* та рейка, которая стоитъ въ опредѣленной прежнимъ нивелированіемъ точкѣ называется *заднею,* а которая стоитъ во вновь опредѣляемой точкѣ, называется *переднею рейкою.*

Чер. 44 представляетъ прорѣзъ поверхности земли отвѣсною плоскостью по оси нивелировки: помощникъ нивелирующаго прошелъ по ней и назначилъ свайкою начальную точку 1, и колышками, съ надписью номеровъ, точки 2, 3, 4 и т. д. въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ поверхность земли представляетъ изгибы, измѣненіе уклоновъ и т. д. какъ сказано въ § 47. Нивелирующій ставитъ одного рабочаго съ рейкой въ точкѣ 1, рейка должна быть уперта въ голову забитой свайки; два рабочихъ тянутъ цѣнь и нивелирующій, идя возлѣ нее, записываетъ въ журналѣ разстоянія колышковъ 2, 3, 4 до 1; при этомъ онъ обращаетъ вниманіе на уклонъ мѣстности и, если опытенъ въ дѣлѣ можетъ назначить какое должно быть разстояніе между нивелиромъ и рейкой для того, чтобъ можно было ее видѣть въ трубу; находя что 40 сажень есть удобное разстояніе, онъ ставитъ нивелиръ въ точкѣ 4, устанавливаетъ инструментъ правильнымъ образомъ, а рабочихъ съ цѣпью посылаетъ дальше отмѣрить другія 40 сажень; проходя мимо колышковъ 5, 6, рабочіе даютъ ему знать объ разстояніяхъ, на которыхъ эти колышки встрѣтились, для записки въ журналъ; въ концѣ 40 сажень становится второй рабочій со второю рейкою, а цѣпь кладется поперегъ, если предполагается составлять поперечные прорѣзы.

Нивелировщикъ смотритъ въ трубу на рейку въ точкѣ (1.), и записываетъ показаніе (0,327) въ графѣ журнала назначенной для высотъ заднихъ реекъ; рабочій переходитъ послѣдовательно въ точки 2, 3, 5, 6 и нивелирующій записываетъ показанія реекъ (0.372; 0.824; 0.956; 1.012) въ графѣ переднихъ реекъ; вовремя прохода рабочаго мимо нивелира, измѣряется возвышеніе центра предметнаго и глазнаго стекла надъ землею и среднее число (0.742) записывается въ туже графу, у точки 4, гдѣ стоитъ нивелиръ. Наконецъ нивелирующій смотритъ на переднюю

рейку A и записываетъ въ тойже графѣ ея показаніе. Если требуются поперечные прорѣзы у точки A или какой нибудъ другой, то рейка относится въ сторону, сначала влѣво, потомъ вправо и показанія боковыхъ реекъ записываются въ особыхъ графахъ подъ названіями лѣвыхъ и правыхъ реекъ; по сторонамъ каждой такой графы есть двѣ другія: въ одной пишутся названія точекъ, въ которыхъ дѣлается поперечнее нивелированіе, въ другой разстояніе ихъ отъ оси. Наконецъ въ послѣдней графѣ журнала въ примѣчаніяхъ описывается положеніе точки 1 начальнаго пункта нивелированія и знака, тамъ поставленнаго.

Отъ A цѣнь идетъ дальше, пройдя напримѣръ 20 саженъ ставятъ инструментъ, устанавливаютъ его и визируютъ на рейку, оставшуюся въ A; для вѣрности нивелированія весьма важно чтобы эта рейка при взглядахъ на нее изъ точки 4 и изъ средины между A и 7, не перемѣнила своего положенія; вотъ почему необходимо ставить ее на башмакъ, объ которомъ говорено было выше (§ 49.)

Нивелированіе продолжается далѣе такимъ же образомъ и въ концѣ дневной работы забивается новая свайка, отъ которой начинается работа слѣдующаго дня.

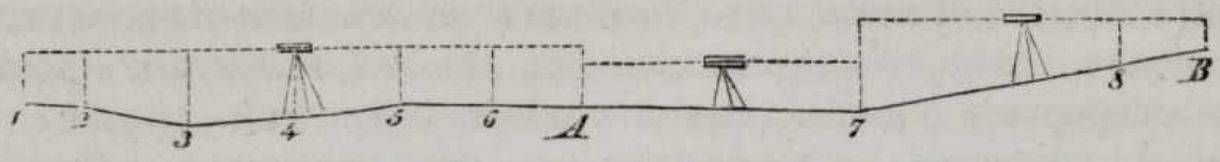
ЖУРНАЛЪ НИВЕЛИРОВАНІЯ.

Разстоя-нія.	Точки.	Задняя рейка.	Передняя рейка.	Точки.	Разстоя-нія.	Точки.	Лѣвая рейка.	Разстоя-нія.	Точки.	Правая рейка.	Разстоя-нія.	Примѣчанія.
80	1	0.327	1.254	A		A′	1.134	10	A,	1.318	10	
			0.372	2	10	A″	1.008	20	A,,	1.426	18	
			0.824	3	25							
			0.742	4	40							
			0.956	5	55							
			1.012	6	68							
40	A	0.526	0.743	7		7′	0.672	15	7,	0.954	20	
50	7	1.826	0.137	B		B′	0.142	10	B,	0.126	20	
			0.254	8	38	B″	0.154	22				
						8′	0.627	15	8,	0.012	16	

и т. д.

Каждая дневная работа должна быть провѣрена на другой день обратнымъ проходомъ, при чемъ рейки ста-

вятся только въ главныхъ точкахъ, каковы на чер. 44 точки B, 7, A и 1, потому что онѣ служатъ связью



Чер. 44.

частныхъ нивелированій. Повѣрка производится тѣмъ, что узнаютъ высоту крайнихъ точекъ дневной работы одной надъ другою по журналу нивелированія и по журналу повѣрки: относительная высота крайнихъ точекъ получается если изъ суммы заднихъ реекъ вычтена будетъ сумма переднихъ. Изъ примѣрнаго журнала видно что точка 1 ниже B на,

$$(0.327 + 0.526 + 1.826) - (1.254 + 0.743 + 0.437) = 0.515.$$

Отрицательный выводъ означалъ бы, что первая точка выше послѣдней. Степень точности требуемая отъ нивелированія зависитъ отъ цѣли, для которой оно дѣлается: если для проведенія воды, то нельзя допускать разности между двумя выводами нивелированія и повѣрки болѣе 1—200й доли сажени на версту, для желѣзныхъ дорогъ не болѣе 1—10й сажени на версту, для простыхъ дорогъ и другихъ работъ можетъ быть допускаема разность до $^1/_2$ сажени на версту.

Если ось нивелированія пересѣкаетъ вмѣстилище воды или русло текучей воды, то надобно отмѣтить въ журналѣ высоту воды въ разныя времена года, собирая о томъ свѣдѣнія отъ жителей, также измѣрить глубину воднаго вмѣстилища въ одномъ или нѣсколькихъ мѣстахъ.

Когда нивелируется поверхность текучей воды для того, чтобы опредѣлить ея паденіе или уклонъ, то надобно брать высоты точекъ рѣки у урѣза воды всѣ въ одно время; а какъ это не возможно, то посылаютъ предварительно въ нѣсколько довольно далеко одна отъ другой отстоящихъ точекъ, напримѣръ на двѣ версты, рабочихъ съ колышками, которые должны быть забиты всѣ у урѣза воды въ одно заранѣе условленное время или по данному сигналу.

Отъ каждой изъ этихъ точекъ къ другой нѣтъ надобности идти у урѣза воды, а можно подняться на дорогу

по берегу рѣку, или на гребень берега, гдѣ идти гораздо удобнѣе.

52. Провѣривъ нивелированіе можно приступить къ **вычисленію высотъ** разныхъ нивелированыхъ точекъ надъ горизонтальною плоскостью: высота начальной точки нивелированія надъ этою плоскостью бываетъ дана. Вычисленіе производится по формулѣ (1.) § 50, т. е. *къ высотѣ первой точки придается задняя рейка и вычитается передняя и тогда получается высота второй точки.*

ИЗЧИСЛЕНІЕ ВЫСОТЪ.

1...21.315
+ 0.327

21.642—1.254=20.388...A...80
—0.372=21.270...2...10
—0.824=20.818...3...25
—0.742=20.900...4...40
—0.956=20.686...5...55
—1.012=20.630...6...68

21.642—1.134=20.508...A'...10
—1.008=20.634...A"...20

21.642—1.318=20.324...A'...10
—1.426=20.216...A"...18

A...20.388
+0.526

20.914—0.743=20.171...7...40

20.914—0.672=20.242...7'....15
20.914—0.954=19.960...7,....20

7...20.171
+1.826

21.997—0.137=21.860...B...50
—0.254=21.743...8...38

21.997—0.142=21.855...B'...10
—0.154=21.843...B"...22
—0.627=21.370...8'...15
21.997—0.126=21.871...B,...20
0.012=21.985...8,...15

53. Составленіе продолжаго профѣза мѣстности начинается съ того, что проводятъ на бумагѣ прямую линію, означающую горизонтальную плоскость, къ которой отнесены всѣ высоты, и по этой линіи откладываютъ горизонтальныя разстоянія.

Масштабъ высотъ, который въ 7 или 10 разъ болѣе масштаба разстояній хорошо помѣщать въ отвѣсномъ положеніи, паралельно линіямъ высотъ для того, чтобъ онъ измѣнялся въ длинѣ, при перемѣнахъ въ длинѣ бумаги, вмѣстѣ съ высотами; это особенно важно въ гравируемыхъ и литографируемыхъ планахъ, гдѣ бумагу смачиваютъ для печатанія на ней, а потомъ она сохнетъ и при этомъ сжимается.

Откладываніе разстояній и высотъ производится подобно нанесенію на бумагу съемки перпендикулярами § 31.

Объясненія, относящіяся къ какимъ нибудь точкамъ, пишутся надъ этими точками; какого рода свѣдѣнія отмѣчаются на прорѣзѣ сказано въ § 14.

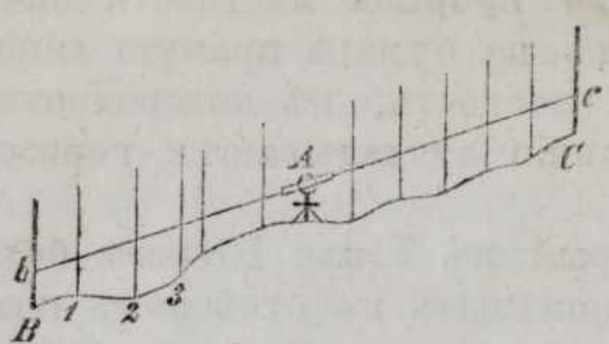
54. Поперечные прорѣзы имѣютъ относительно оси нивелированія нормальное или наклонное положеніе; для производства земляныхъ работъ они должны быть нормальны или перпендикулярны къ оси. Когда они имѣютъ не большую ширину, до 50 сажень, то могутъ быть опредѣляемы во время продольнаго нивелированія; при большей ширинѣ каждый поперечный прорѣзъ долженъ быть предметомъ особаго нивелированія подобнаго тому, которое производится вдоль.

При нивелированіи для проложенія дороги поперечные прорѣзы дѣлаются вдоль хребтовъ и русла рѣкъ, пересѣкающихъ пространство, по которому пойдетъ дорога; также во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ поверхность земли имѣетъ значительный уклонъ, въ направленіи перпендикулярномъ къ оси дороги.

55. Теодолитъ можетъ также, какъ и нивелиръ, служить для опредѣленія относительной высоты точекъ, его употребляютъ тремя способами.

I. *Труба ставится горизонтально* какъ въ нивелирѣ, и опредѣленіе высотъ производится, какъ было объяснено въ § 51; этотъ способъ можно употребить когда нѣтъ нивелира.

II. *Труба ставится наклонно* подъ извѣстнымъ угломъ и берутся высоты заднихъ и передникъ реекъ, для послѣднихъ труба перекладывается въ вилкахъ: это очень удобно дѣлать на крутыхъ уклонахъ, гдѣ при употребленіи нивелира пришлось бы ставить рейки очень часто. На чер. 45 теодолитъ стоитъ въ A, bc есть наклонная прямая, параллельная общему уклону поверхности земли отъ B къ C, Bb, Cc и другія отвѣсныя линіи на чертежѣ представляютъ высоты реекъ.



Чер. 45.

Чтобы разсчитать высоты точекъ относительно гори-

зонтальной плоскости лучше всего предположить, что *bc* есть линія горизонтальная и сдѣлать расчетъ, какъ для горизонтальной линіи, потомъ ко всѣмъ изчисленнымъ такимъ образомъ высотамъ придавать, къ каждой отдѣльно, произведеніе разстоянія ея до точки *B* на синусъ угла наклоненія линіи *bc* къ горизонту, если промѣръ производился по уклону, или на тангенсъ этаго угла, если мѣряли горизонтальныя проложенія.

III. - *Посредствомъ угловъ наклоненія линій къ горизонту.* Теодолитъ ставится въ одной изъ точекъ, которыхъ относительная высота должна быть опредѣлена, а въ другой ставится колъ такой же высоты, какъ теодолитъ; визируя на верхушку кола, записываютъ уголъ наклоненія трубы къ горизонту; произведеніе тангенса этаго угла на разстояніе между точками есть ихъ относительная высота.

Переломленіе лучей свѣта въ воздухѣ дѣлаетъ то, что углы получаются невѣрные: рефракція повышаетъ предметы, и слѣдовательно къ опредѣляемымъ такимъ образомъ зенитальнымъ разстояніямъ надобно прибавлять *углы рефракціи;* чтобы имѣть вѣрный уголъ рефракціи надобно опредѣлить взаимныя зенитальныя разстоянія обѣихъ точекъ, и линейное ихъ разстояніе по поверхности земли. Формула (52) § 33 служитъ для опредѣленія угла α при центрѣ земли между отвѣсными линіями двухъ точекъ, когда разстояніе a между ними извѣстно.

Если назвать Z_1 и Z_2 взаимныя зенитальныя разстоянія двухъ точекъ, а r уголъ рефракціи или то количество, которое надобно придать къ каждому изъ нихъ, чтобъ получить дѣйствительное разстояніе, то

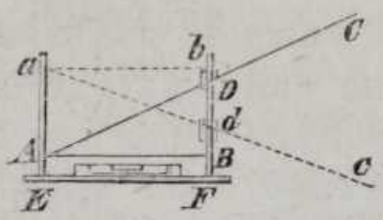
$$r = \tfrac{1}{2}\left\{ 180^0 + \alpha - Z_1 - Z_2 \right\} \ldots\ldots (1.)$$

уголъ этотъ измѣняется съ измѣненіемъ состоянія атмосферы, въ пасмурную погоду онъ больше, въ ясную меньше; средняя его величина въ секундахъ, если d, разстояніе между точками, выражено въ саженяхъ есть

$$r = 0{,}0055297\ d \ldots\ldots (2.)$$

Высота предмета или возвышеніе его надъ горизонтомъ можетъ быть опредѣляемо посредствомъ секстанта при помощи *искуственнаго горизонта* или чашки со ртутью, служащей горизонтальнымъ зеркаломъ; въ немъ отражается предметъ и секстантомъ опредѣляется уголъ между пред-

метомъ и его отраженіемъ въ искуственномъ горизонтѣ, половина замѣченнаго угла есть высота предмета.



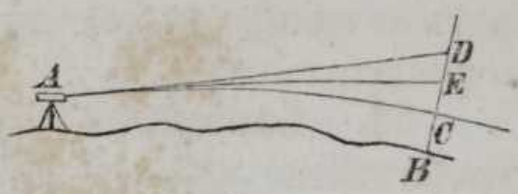
Чер. 46

56. Высотомѣръ Шези (Чер. 46) состоитъ изъ алидады, которую можно положить на мензулу, приведеную въ горизонтальное положеніе или поставить на штативъ. На концахъ ея есть діоптры; въ E глазной съ двумя очками одно въ A, другое въ a, въ F предметный съ широкимъ прорѣзомъ, по которому ходитъ досечка D съ квадратнымъ прорѣзомъ, гдѣ натянуто крестомъ два волоска; противъ горизонтальнаго волоска на краю досечки есть указатель, иногда съ ноніусомъ, а на діоптрѣ есть дѣленія въ десятичныхъ доляхъ разстоянія AB, это тангенсы угловъ наклоненія линій AD и ad къ горизонтальнымъ линіямъ AB и ab. Когда предметъ выше горизонта, то смотрятъ въ очко A и поднимаютъ досечку D до покрытія предмета горизонтальнымъ ея волоскомъ; для предметовъ подъ горизонтомъ смотрятъ сквозь очко a и отсчитываютъ по указателю и ноніусу число дѣленій на діоптрѣ F отъ верха его.

57. Водяной уровень есть опрокинутый сифонъ: онъ состоитъ изъ мѣдной горизонтальной трубки длиною въ 2 или 3 фута, съ двумя стекляными, загнутыми къ верху трубками по концамъ, высота этихъ трубокъ не превосходитъ полуфута. Въ этотъ уровень наливается вода нѣсколько подкрашенная и онъ ставится на штативъ, поверхность воды въ обѣихъ трубахъ всегда горизонтальна, и слѣдовательно можетъ служить визирною линіею при нивелированіи; поставивъ въ одной точкѣ уровень, а въ другой рейку, можно прочесть какое дѣленіе ея приходится противъ горизонта воды въ трубкахъ, по вычетѣ высоты горизонта воды надъ землею, получится относительная высота точекъ.

58. Сферичность земли принимается въ расчетъ при опредѣленіи относительной высоты двухъ точекъ, когда инструментъ ставится въ одной изъ нихъ, и визируютъ по немъ на знакъ или рейку, находящіеся въ другой точкѣ. На чер. 47 A есть нивелиръ, ось трубы его горизонтальна или имѣетъ направленіе AD, касательное къ истинной горизонтальной линіи или дугѣ AC круга, описаннаго изъ центра земли: видимая въ трубу высота рейки BD есть

ложная, она больше истинной BC на количество CD, которое составляетъ ошибку отъ сферичности земли. Если разстояніе d между A и B выражено въ саженяхъ, то ошибка эта въ тѣхъ же единицахъ будетъ $\delta' = 0.\ 000000167556\ d^2$. . . . . (1.)



Чер. 47.

или $\log \delta' = \overline{7}.\ 2241581 + 2 \log d$. . . . . (1.A.)

При большихъ разстояніяхъ надобно обращать вниманіе и на рефракцію, въ слѣдствіе которой по направленію оси трубы AD видна не точка D, а E, и слѣдовательно къ высотѣ BE надобно придать ошибку отъ рефракціи, которая есть среднимъчисломъ $\delta'' = 0.000000026809\ d^2$. . . . (2.)

или $\log \delta'' = \overline{8}.4282781 + 2 \log d$. . . . . (2A.)

Обѣ же ошибки вмѣстѣ, изъ которыхъ первая отрицательная, а вторая положительная, или разстояніе CE вычитаемое изъ замѣченной высоты рейки есть

$$\delta' - \delta'' = 0.000000140747.\ d^2 \ldots\ldots (3.)$$

или $\log \delta' - \delta'' = \overline{7}.\ 1484391 + 2 \log d$. . . . . (3A.)

Для того чтобы избѣжать вычисленія этой ошибки нивелиръ ставятъ въ равномъ разстояніи отъ точекъ, которыхъ высоты нужно знать, и потомъ берутъ разность высотъ поставленныхъ въ нихъ реекъ, при чемъ погрѣшности уничтожаются. Но ихъ необходимо расчитывать при глазомѣрномъ опредѣленіи высотъ во время рекогносцировки мѣстности о чемъ говорено въ § 11 въ статьѣ. II.: тутъ употребляется теодолитъ, которымъ узнаютъ зенитальное разстояніе опредѣляемой точки относительно той, въ которой находится наблюдатель, и которой высота извѣстна; горизонтальное разстояніе точекъ берется съ географической карты, и потомъ взявъ разность между 90^0 и зенитальнымъ разстояніемъ, умножаютъ тангенсъ этаго угла на горизонтальное разстояніе; изъ произведенія вычитаютъ поправку отъ сферичности и рефракціи, вычисляемую по формуламъ (3) или (3A); остатокъ придаютъ къ высотѣ точки стоянія и тогда получится высота опредѣляемой точки. Тутъ разумѣются алгебрическое сложеніе, и вычитаніе; если разность между 90^0 и зенитальнымъ разстояніемъ

есть отрицательная величина, то тангенсъ угла будетъ отрицательный.

59. Барометрическое опредѣленіе высотъ также употребительно для узнанія высоты отдѣльныхъ точекъ. Пусть означаютъ буквы:

H высоту ртутнаго столба барометра въ нижней точкѣ, *h* въ верхней въ англійскихъ дюймахъ, *T* показаніе внутренняго термометра въ нижней точкѣ, *t* въ верхней по Реомюру; *T'* показаніе наружнаго термометра въ нижней точкѣ, *t'* въ верхней.

Высота въ саженяхъ будетъ

$$8623\left\{\log\ \mathrm{H}-\log\ \mathrm{h}-0.000099\ (\mathrm{T}-\mathrm{t})\right\}\left\{1+\frac{\mathrm{T}'+\mathrm{t}'}{438}\right\}\ldots\ldots(1.)$$

или приблизительно

$$8043\ (\log\ \mathrm{H}-\log\ \mathrm{h})\left(\frac{\mathrm{T}'+\mathrm{t}'}{44.}\right)\ldots.(2.)$$

Когда нѣтъ логариѳмовъ, то можно для высотъ не превосходящихъ 400 сажень употреблять формулу

$$7490\frac{\mathrm{H}-\mathrm{h}'}{\mathrm{H}+\mathrm{h}'}\left(1+\frac{\mathrm{T}'+\mathrm{t}'}{438.}\right)$$

здѣсь h' есть высота h, приведенная къ температурѣ t и потому

$$\mathrm{h}'=\mathrm{h}\left(1+\frac{\mathrm{T}'-\mathrm{t}}{4444.}\right)$$

При употребленіи анероиднаго барометра, надобно въ этихъ формулахъ отбрасывать величины относящіяся къ внутреннему термометру, потому что температура его имѣетъ мало вліянія на показанія этаго барометра.

Можно опредѣлять относительную высоту точекъ наблюденіемъ надъ температурою кипѣнія въ нихъ воды по способу Воластона, усовершенствованному Форбесомъ: температура кипѣнія воды понижается на 1^0 Р для каждыхъ 175 сажень высоты или вѣрнѣе.

$$\mathrm{Z}=166.17\ (80^0-\mathrm{T})+0.71\ (80^0-\mathrm{T})^2\ldots\ldots(4.)$$

гдѣ Z означаетъ въ саженяхъ высоту опредѣляемой точки надъ тою, гдѣ температура кипѣнія есть 80^0 по Р., а *T* температура кипѣнія воды въ опредѣляемой точкѣ по Р.

Для узнанія относительной высоты двухъ точекъ надобно въ каждой изъ нихъ сдѣлать наблюденіе надъ ки-

пѣніемъ воды, опредѣлить для каждой высоту Z и потомъ взять между ними разность.

60. Изгибы поверхности земли. На поверхности земли какъ и на всякой поверхности, имѣющей неправильные изгибы, болѣе другихъ важны два рода линій: это *хребты* и *водотоки*, ими опредѣляется видъ страны и ихъ расположеніе даетъ ясное понятіе объ поверхности земли.

I. *Хребтомъ* называется непрерывная линія, проходящая черезъ высшія точки мѣстности, отъ этой линіи поверхность земли по обѣ ея стороны понижается, и дождевыя воды, падающія на поверхность земли, текутъ отъ такихъ линій въ разныя стороны, почему ихъ можно называть также *водораздѣлами*.

На поверхности земнаго шара есть много цѣпей горъ, которыхъ возвышенныя точки образуютъ главные хребты, отъ горъ идутъ отрасли, вѣтви, имѣющія свои хребты втораго, третьяго и т. д. порядковъ; хребты послѣдняго порядка кончаются мысами у вмѣстилищъ воды или руслъ. Случается но довольно рѣдко, что хребетъ возвращается къ своему началу, окружая пониженное мѣсто, называемое *котловиною*.

Хребетъ рѣдко тянется довольно долго въ прямую линію или имѣетъ вездѣ одинакую высоту, обыкновенно это неправильная, извилистная линія то повышающаяся, то понижающаяся.

Высшія точки хребта образуютъ *вершины* горъ. Вершина отдѣльной круглой или конической горы можетъ не принадлежать ни къ какому хребту, но вершина горъ всегда перерѣзывается хоть однимъ хребтомъ; часто случается, что отъ одной вершины идетъ нѣсколько хребтовъ въ разныя стороны: вершиною горъ бываетъ иногда не одна точка, а цѣлая плоскость или *плоская возвышенность*, отъ краевъ которой идутъ хребты.

Низшія точки хребта составляютъ *перевалы* черезъ него.

II. *Водотоки*, путедолы или тальвеги суть низшія линіи земной поверхности, окружающія ихъ точки всѣ выше ихъ, поверхность земли идетъ отъ нихъ повышаясь, дождевыя воды стекаютъ къ такимъ линіямъ и по нимъ достигаютъ до другихъ текучихъ или стоячихъ водъ. Смотря по количеству воды текущей по такой линій, это можетъ быть сухой оврагъ, ручей, болѣе или менѣе значительная рѣка

Когда пониженное мѣсто окружено хребтомъ, то собравшаяся въ немъ вода не имѣетъ истока, и если по большому своему количеству не испаряется или не всасывается землею, то образуетъ прудъ, озеро или средиземное море. Какъ хребетъ, такъ и водотокъ, почти никогда не образуетъ прямой линіи, а всегда извилистую, на которой впрочемъ не бываетъ значительно возвышающихся точекъ, но онъ идетъ все понижаясь, хотя и неправильно.

Перевалъ можно разсматривать какъ пересѣченіе хребта съ водотокомъ, но вѣрнѣе считать его началомъ или исходнымъ пунктомъ двухъ идущихъ въ разныя стороны водотоковъ. Кончается водотокъ всегда или у другаго водотока или у плоской низменности, большею частью покрытой водою и образующей озеро или море.

На географическихъ картахъ всегда означаются главные водотоки страны, которые составляютъ русла рѣкъ; на такой картѣ можно назначить хребты и даже составить себѣ приблизительное понятіе объ относительномъ ихъ возвышеніи, на основаніи слѣдующихъ соображеній: между двумя водотоками существуетъ всегда хребетъ тогоже разряда какъ и водотокъ; гдѣ два водотока сближаются, тамъ раздѣляющій ихъ хребетъ понижается; гдѣ они расходятся, тамъ онъ повышается; когда два водотока идутъ отъ одной точки хребта въ противоположныя стороны, это низшая точка хребта или перевалъ; если нѣсколько водотоковъ идутъ отъ одной точки хребта въ разныя стороны, то это узелъ горъ, вершина хребта и т. п.

Изъ этаго объясненія хребтовъ и водотоковъ видно, что самыя замѣчательныя точки мѣстности, выражающія ея изгибы суть:

Вершины хребтовъ, отдѣльныя верхушки горъ, плоскія возвышенности.

Переломы въ уклонѣ хребтовъ.

Точки откуда хребты расходятся.

Перевалы, какъ низшія точки хребтовъ и высшія водотоковъ.

Низшія точки водотоковъ.

Переломы въ уклонѣ водотоковъ.

Точки схода водотоковъ.

Изо всѣхъ этихъ точекъ для инженера, пролагающаго путь сообщенія, самое большое значеніе имѣютъ перевалы, какъ мѣста для перехода изъ одной долины въ другую.

Всѣ упомянутыя точки должны быть назначены на планѣ, составленномъ инженеромъ и, такъ какъ неудобно выразить высоты этихъ точекъ прорѣзами, то на планѣ у каждой точкѣ надписывается ея высота.

Линіи хребтовъ на планахъ остаются бѣлыми, покаты идущіе отъ нихъ къ водотокамъ покрываются тѣнью, которая должна быть тѣмъ темнѣе, чѣмъ покатъ круче, лучшая при этомъ пропорціональность густоты тѣни есть та,которая соразмѣрна тангенсу угла наклоненія поката къ горизонту.

По водотокамъ течетъ обыкновенно вода, которая показывается чертою тѣмъ толще чѣмъ шире рѣка; дно сухихъ овраговъ полезно означать непрерывною слабою тѣнью для отличія отъ хребтовъ.

61. Горизонтали (Contour lines) суть тѣ линіи поверхности земли, которыхъ всѣ точки находятся на одной высотѣ надъ горизонтальною плоскостью; ихъ можно считать разрѣзами поверхности земли горизонтальными плоскостями.

Если горизонтали назначены на планѣ мѣстности, то можно получить полное понятія объ ея изгибахъ.

Всякая горизонталь пересѣкаетъ линію наибольшаго уклона покатовъ подъ прямымъ угломъ; линіей наибольшаго уклона какого нибудь поката называется та изъ линій на немъ проведенныхъ, которая составляетъ наибольшій уголъ съ горизонтомъ. Подъ прямыми же углами пересѣкаются горизонтали съ хребтами и водотоками, которые никогда не представляютъ острыхъ ребръ; переходомъ отъ одного поката къ другому противоположному всегда бываетъ выпуклая или вогнутая поверхность.

Отвѣсное разстояніе между горизонталями или относительное ихъ возвышеніе зависитъ отъ масштаба, въ которомъ планъ составленъ, отъ цѣли, для которой онъ сдѣланъ, а также отъ вида поверхности земли. При большомъ масштабѣ разстояніе между горизонталями меньше, ихъ надобно брать чаще въ мѣстахъ крутыхъ, гористыхъ, нежели въ плоскихъ; для проведенія обыкновенной дороги, при проэктированіи крѣпостей разстояніе горизонталей можетъ быть въ 5 сажень, для желѣзныхъ дорогъ 1 или 2 сажени; на планахъ городовъ, или мѣстностей, которыя предполагается осушать, горизонтали означаются чрезъ каждыя полсажени и и даже чаще; при масштабѣ въ 1—10,000 саж. или въ 1 дюймѣ 100 сажень разстояніе горизонталей можетъ быть въ 5 сажень.

Для назначенія горизонталей есть два способа:

1. *Обыкновеннымъ нивелированіемъ* опредѣляется возможно большее число точекъ мѣстности, проходя ее вдоль и въ нѣсколькихъ мѣстахъ поперегъ; высоты всѣхъ нивелированныхъ точекъ надписываются на планѣ мѣстности, за тѣмъ каждая точка соединяется съ окружающими прямыми линіями, на которыхъ назначаются точки принадлежащія разнымъ горизонталямъ по расчету. Если напримѣръ двѣ точки плана имѣютъ высоты одна 82с. 383, другая 76с. 634, а горизонтали назначаются черезъ каждыя двѣ сажени, то прямая линія, которая ихъ соединяетъ дѣлится на части пропорціоналныя числамъ 0.383 : 2 : 2 : 1.366; послѣднее число есть разность между 78 и 76.634. На линіи получается три точки принадлежащія горизонталямъ, которыхъ высоты суть 82, 80 и 78 сажень.

Точки разныхъ линій, имѣющія одинакую высоту, соединяются между собою линіями, которыя и суть горизонтали.

II. *Опредѣленіемъ угловъ наклоненія къ горизонту* или уклоновъ линій, идущихъ въ разныя стороны отъ точекъ, назначаемыхъ или имѣющихъ быть назначенными на планѣ: на этихъ линіяхъ точки горизонталей означаются на томъ основаніи, что горизонтальное разстояніе двухъ горизонталей обратно пропорціонально тангенсу угла наклоненія къ горизонту. Напримѣръ при отвѣсномъ разстояніи горизонталей въ 2 сажени, на линіи которой уклонъ 9° 25′ горизонтальное разстояніе будетъ равно частному отъ раздѣленія 2 на 0.166 или тангенсъ 9°, 25′ т. е. около 12 сажень. Точки, опредѣляемыя на разныхъ линіяхъ, если имѣютъ одинакія высоты, соединяются линіями, которыя будутъ горизонталями.

Горизонтали представляютъ на планѣ всегда сомкнутыя линіи или линіи непрерывныя, идущія отъ одного края плана до другаго или до того же самаго; онѣ пересѣкаютъ линіи хребтовъ и водотоковъ подъ прямыми углами. Указанными способами опредѣляются не всѣ горизонтали а нѣкоторыя, смотря по требуемой степени точности, черезъ одну, двѣ или три; промежуточныя означаются по соображенію.

Опытные съемщики для назначенія горизонталей на планѣ довольствуются тѣмъ, что наносятъ на него посредствомъ съемки хребты и водотоки и потомъ назначаютъ горизонтали на глазъ при сличеніи плана съ мѣстностью.

При отдѣлкѣ плана отъ руки между назначенными на немъ горизонталями проводятся другія отъ руки въ пропорціональныхъ разстояніяхъ: такъ какъ чѣмъ круче мѣсто, тѣмъ горизонтали ближе одна къ другой, то эти мѣста будутъ казаться темнѣе, а пологія гдѣ горизонтали рѣже, будто свѣтлѣе.

Гравированные планы отдѣланы бываютъ штрихами, которымъ дается направленіе наибольшихъ уклоновъ или перпендикулярное къ горизонталямъ: отношеніе толщины штриха къ промежутку между штрихами зависитъ отъ угла наклоненія поката къ горизонту, лучше всего дѣлать его пропорціональнымъ тангенсу угла наклоненія или обратно пропорціональнымъ горизонтальному разстоянію горизонталей; чѣмъ горизонтали ближе, тѣмъ это отношеніе больше или штрихи толще и чаще.

ГЛАВА V.

РАЗБИВКА ЛИНІЙ НА ЗЕМЛѢ.

62. Провѣшиваніе прямыхъ линій производится постановкою кольевъ такъ, чтобы каждый вновь поставленный колъ закрывалъ для глаза линію предъидущихъ кольевъ, но такое провѣшиваніе есть только предварительное и приблизительное. Вѣрная разбивка прямой линіи дороги или канала на мѣстѣ производится при помощи зрительной трубы, которая должна двигаться въ плоскости отвѣсной, по ней выставляются на землѣ колышки въ разстояніи отъ 10 до 30 сажень одинъ отъ другаго: разстоянія должны быть равны между собою, и чѣмъ они меньше тѣмъ разбивка будетъ точнѣе.

На возвышенномъ пунктѣ линіи ставится теодолитъ; если длина линіи въ обѣ стороны отъ этого пункта доходитъ до 3 верстъ, то должно употребить хорошій теодолитъ, котораго лимбъ имѣетъ отъ 6 до 8 дюймовъ въ діаметрѣ; трубы такихъ инструментовъ имѣютъ довольно большую силу увеличиванія и могутъ быть переводимы черезъ зенитъ такъ, что можно разбивать линію въ обѣ стороны отъ стана.

Теодолитъ устанавливаютъ въ центрѣ стана по правиламъ § 35, т. е. ось вращенія инструмента должна быть отвѣсна; вывѣряютъ перпендикулярность къ этой оси оси вращенія трубы и перпендикулярность визирной линіи трубы къ ея оси вращенія.

Рабочіе идутъ погомъ по линіи, приближаясь къ цен-

тру стана и выставляютъ на землѣ колышки противъ центра сѣтки по знакамъ, которые имъ даетъ инжинеръ, смотрящій въ трубу; ошибки при назначеніи линіи этимъ способомъ не превосходятъ 10″ въ углѣ или 2 дюймовъ на версту.

При значительной длинѣ разбиваемой линіи и требованіи большей точности, надобно употребить инструментъ въ родѣ *инструмента прохожденій*; это зрительная труба отъ 20 до 30 дюймовъ фокуснаго разстоянія съ сѣткою изъ двухъ волосковъ и съ вертлюгами по бокамъ, ими она кладется въ мѣдныя вилки при ножкахъ, которыя упираются въ подставку, сдѣланную изъ чугуна; къ инструменту принадлежитъ весьма чувствительный уровень, длиною до двухъ футъ, съ вилкообразными ножками, которыми онъ кладется на вертлюги оси вращенія трубы, и съ повѣрительными винтами.

На томъ мѣстѣ, откуда будетъ производиться разбивка, кладется каменный фундаментъ, котораго поверхность вывѣряется по уровню, и устраивается легкая крыша и даже съ боковъ дѣлаются стѣнки, но всѣ эти части не должны упираться въ фундаментъ для того, чтобы качанія ихъ отъ вѣтру или другихъ причинъ не сообщались инструменту. На фундаментъ ставится инструментъ и въ немъ вывѣряютъ:

1. *Перпендикулярность оси трубы къ оси вращенія.* Центръ волосковъ наводятъ на отдаленный, ясно видимый предметъ перекладываютъ ось вращенія въ вилкахъ, если сѣтка не будетъ наведена на тотъ же предметъ, то ее перемѣщаютъ винтами, при ней находящимся, на половину отклоненія, другая половина уничтожается перемѣщеніемъ вилки посредствомъ горизонтальнаго винта, который находится при ножкѣ.

2. *Горизонтальность оси вращенія* узнается наложеніемъ уровня на ея вертлюги, пузырекъ приводится на средину подниманіемъ одной изъ вилокъ посредствомъ отвѣснаго винта, уровень перекладываютъ; если онъ отклоняется отъ горизонтальнаго положенія, то половина отклоненія исправлятся винтомъ при уровнѣ, другая винтомъ при ножкѣ.

Если въ двухъ положеніяхъ уровня пузырекъ его на срединѣ, то онъ вѣренъ и верхняя грань вертлюговъ горизонтальна, но вертлюги могутъ имѣть разные діаметры;

чтобъ это узнать, надобно переложить трубу какъ въ поправкѣ (1.) наложить уровень; отклоненіе g его пузырка отъ средины будетъ соотвѣтствовать углу наклоненія къ горизонту той грани вертлюговъ, которая прежде была нижнею, половина этаго угла есть уголъ двухъ граней вертлюговъ, а четверть его есть невѣрность оси. Надобно отмѣтить который вертлюгъ толще и при установкѣ уровня наблюдать чтобъ пузырекъ отходилъ въ сторону этого вертлюга на чертверть g, тогда ось будетъ горизонтальна.

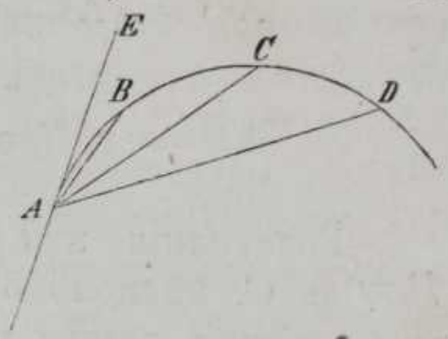
За тѣмъ надобно посмотрѣть дѣйствительно ли точка, гдѣ стоитъ инструментъ находится на прямой линіи между крайними сигналами этой линіи: трубу наводятъ на одинъ изъ сигналовъ круговымъ движеніемъ подставки по фундаменту, малое отклоненіе центра сѣтки отъ сигнала исправляется винтомъ при ножкѣ; трубу переводятъ черезъ зенитъ, если сѣтка не закроетъ другаго сигнала, то станъ невѣрно взятъ. Малое отклоненіе можетъ быть исправлено тѣмъ, что передвигаютъ подставку по фундаменту перпендикулярно къ провѣшиваемой линіи на половину отклоненія центра сѣтки отъ сигнала, другую половину исправляютъ горизонтальнымъ винтомъ при ножкѣ, и опять переводятъ трубу черезъ зенитъ для визированія на первый сигналъ.

Послѣ совершенной вывѣрки инструмента его утверждаютъ на фундаментѣ: въ подставкѣ бываютъ отверстія для винтовъ, назначивъ на фунтаментѣ мѣста для нихъ, снимаютъ инструментъ, вытѣсываютъ въ камнѣ гнѣзда, снова ставятъ инструментъ и удостовѣрившись въ вѣрности его установки, вставляютъ винты въ отверстія подставки и заливаютъ гнѣзда свинцомъ. За тѣмъ всѣ винты при ножкахъ отвѣсные и горизонтальные закрѣпляются.

63. Разбивка кривой линіи. Для перехода отъ одной прямой линіи къ другой при проложеніи дороги или канала употребляется дуга круга, касательная къ прямымъ линіямъ; нѣкоторые строители употребляли параболу; есть причины полагать, что для желѣзной дороги приличнѣе всѣхъ была бы кривая линія, по которой сгибается стальная пружина одинакой толщины по всей ея длинѣ; но разбивка на землѣ такихъ кривыхъ линій затруднительна, по этому имъ предпочитаютъ дуги круговъ.

I. *Разбить дугу круга по угламъ при окружности.* Этимъ способомъ дуга разбивается также скоро и вѣрно

какъ прямая линія: онъ основанъ на томъ, что если отъ какой нибудь точки A (чер. 48) окружности круга проведены хорды къ другимъ точкамъ B, C, D, то углы, составляемыя хордами AB, AC, AD между собою, вдвое меньше угловъ, при центрѣ соотвѣтствующихъ дугамъ BC, CD; если эти дуги равны, то и углы равны между собою, а если онѣ равны дугѣ AB, то и уголъ EAB между касательною и хордою равенъ тѣмъ же угламъ. Величина α въ минутахъ угла при окружности, соотвѣтсвующаго дугѣ, которой длина

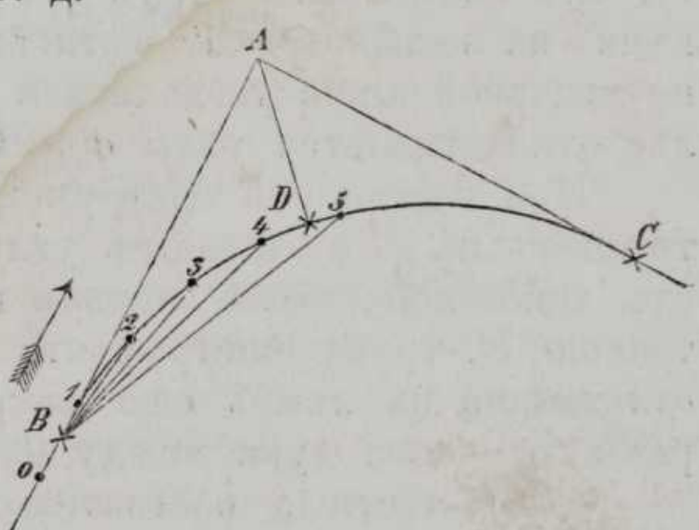


Чер. 48.

есть a, при радіусѣ r есть $\alpha = 1718'.873 \frac{a}{r}$ . . . . . (1.)

Американскіе инженеры опредѣляютъ кривизну дуги числомъ градусовъ угла при центрѣ соотвѣтствующаго дугѣ въ одну цѣпь, которая имѣетъ 100 футъ длины, и называютъ это угломъ отклоненія: если по ихъ способу взять 10 саженную цѣпь, то величина угла отклоненія въ градусахъ будетъ равна 572.96 раздѣленнымъ на число сажень заключающихся въ радіусѣ; обратно величина радіуса въ саженяхъ получается раздѣленіемъ 572.96 на число градусовъ въ углѣ отклоненія. Одноградусною дугою по ихъ методѣ будетъ дуга описанная радіусомъ въ 573 сажени, двуградусная имѣетъ радіусъ $286\frac{1}{2}$ сажень, трехградусная 191 сажень и г. д.

Первая задача. Назначить дугу круга, касательную къ двумъ прямымъ, которыхъ пересѣченіе доступно.



Чер. 49

Теодолитъ ставятъ въ точку A (чер. 49) и измѣряютъ уголъ BAC, назначаютъ линію AD, которая дѣлитъ его пополамъ; точки B, D и C, начало, средина и конецъ дуги по данному радіусу r и величинѣ A угла BAC получаются по формуламъ.

$$AB = AC = r \cot g \frac{A}{2} \ldots\ldots (2)$$

$$AD = r. \left(\operatorname{cosec} \frac{A}{2} - 1\right) \ldots\ldots (3.)$$

Разстоянія эти отмѣриваютъ и ставятъ колышки въ B,D и C, нѣсколько отличные отъ другихъ колышковъ на разбиваемой линіи: полагая что колышки ставятся по линіи черезъ каждыя 10 сажень и что O есть послѣдній на прямой линіи, надобно смѣрить разстояніе отъ него до точки B узнать уголъ φ соотвѣствующій разности между 10 саженями и этимъ разстояніемъ по формулѣ (1.) и уголъ Θ, соотвѣтствующій 10 саженямъ. Длина всей дуги BDC, если A выражено въ минутахъ, есть

$$0.0002909 \times r \times (10800 - A) \ldots\ldots (4.)$$

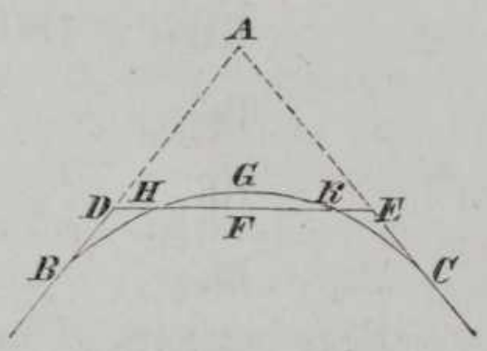
Когда дуга не длиннѣе версты, то теодолитъ для разбивки дуги ставится B, при большей длинѣ въ D. Поставленный въ B инструментъ оріентируется по касательной, то есть нуль его лимба долженъ стоять по линіи BA; цѣпь однимъ крайнимъ кольцомъ накладывается на колышекъ O, огибаетъ колышекъ B, а на другомъ ея концѣ въ кольцо вдѣвается колышекъ, который рабочій ставитъ по указанію инженера. Указатель ноніуса ставится по лимбу на уголъ φ и рабочій, натягивая цѣпь, долженъ выровняться по визирной линіи трубы и забить въ землю колышекъ 1; инженеръ отводитъ указатель ноніуса такъ, чтобы онъ показывалъ уголъ $\varphi + \Theta$, а рабочій надѣвъ кольцо цѣпи на колышекъ 1, вытягиваетъ цѣпь, выравнивается по визирной линіи теодолита и ставитъ колышекъ 2; далѣе откладываются углы $\varphi + 2\Theta$, $\varphi + 3\Theta$ и т. д.

При постановкѣ инструмента въ точкѣ D, его оріентируютъ на B и считаютъ углы φ, $\varphi + 1\Theta$, $\varphi + 2\Theta$ и пр. отъ линіи DB; послѣ забивки послѣдняго колышка передъ точкою D, трубу инструмента переводятъ черезъ зенитъ, отложивши на лимбѣ еще разъ уголъ Θ и продолжаютъ разбивку части дуги между D и C.

Если мѣстныя обстоятельства не позволяютъ видѣть всей дуги изъ точекъ B или D, то можно перенести инструментъ въ какую нибудь точку кривой, опредѣленную изъ B или D и, оріентировавши его по послѣднему постановленному колышку, откладывать на лимбѣ углы Θ, 2Θ и т. д.

Радіусы разбиваемыхъ на землѣ дугъ круга для дорогъ и каналовъ бываютъ обыкновенно такъ велики, что нѣтъ чувствительной разности между длиною дуги въ 10 сажень и длиною ея хорды: разность эта есть $\frac{a^3}{24r^2}$ . . . (5.)

при радіусѣ въ 65 сажень и длинѣ дуги въ 10 сажень эта разность есть 0,01 сажени.



(Чер. 50.)

Вторая задача. Назначить на землѣ кривую касательную къ двумъ прямымъ, которыхъ точка пересѣченія недоступна.

На касательныхъ выбираютъ точки D и E произвольно, лучше всего если линія DE пересѣкаетъ кривую; линію эту надобно измѣрить, также какъ и углы $BDE = D$ и $DEC = E$, тогда

$$A = D + E - 180^0 \ldots\ldots (6.)$$

$$AD = DE\,\frac{\sin E}{\sin A}\,;\quad AE = DE\,\frac{\sin D}{\sin A} \ldots\ldots (7.)$$

$$DB = r\,\mathrm{cotg}\,\frac{A}{2} - AD\,;\quad EC = r\,\mathrm{cotg}\,\frac{A}{2} - AE \ldots\ldots (8.)$$

точки B и C можно послѣ этаго назначить на землѣ и работа пойдетъ дальше, какъ при рѣшеніи первой задачи.

Чтобы опредѣлить точки H и K пересѣченія дуги съ хордою DE; надобно сперва назначить точку F средину хорды HK.

$$DF = \frac{DE}{2} + \frac{BD^2 - CE^2}{2DE}\,;\quad EF = \frac{DE}{2} - \frac{DB^2 - CE^2}{2DE} \ldots\ldots (9.)$$

$$FH = FK = \sqrt{\frac{DF^2 + EF^2 - BD^2 - CE^2}{2}} \ldots\ldots (10.)$$

Величины эти выведены изъ уравненій

$$\left.\begin{aligned} BD^2 &= DH.\,DK = \frac{(DK + DH)^2 - (DK - DH)^2}{4} \\ EC^2 &= EH.\,EK = \frac{(EH + EK)^2 - (EH - EK)^2}{4} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (11.)$$

Точка G средина дуги KH опредѣлится длиною перпендикуляра

$$FG = r - \sqrt{r^2 - FH^2} \quad \ldots\ldots (12.)$$

Углы, соотвѣтствующіе дугамъ, начинающимся у точки B и кончающимся у точекъ H, G, K, и C, суть.

$$\left.\begin{array}{ll} BH & 180 - D - \text{arc sin } \frac{FH}{r} \\ BG & 180 - D \\ BK & 180 - D + \text{arc sin } \frac{FH}{r} \\ BC & 360^0 - D - E \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots (13.)$$

Если назвать d число минутъ котораго нибудь изъ этихъ угловъ, то соотвѣтствующая дуга будетъ

$$0.0002909\ r\ d. \quad \ldots\ldots (14.)$$

Еслибы точка D была дальше отъ A нежели точка B, то опредѣленная уравненіемъ (10) точка H находилась бы на той части окружности, которая не принадлежитъ дугѣ BGC; тоже должно сказать объ точкѣ K, если бы E было отъ A дальше нежели C. Когда получится для FH или FK изъ уравненія (10) мнимая величина, то это будетъ значить что DE не пересѣкаетъ кривой; тѣмъ не менѣе слѣдуетъ ее опредѣлить и вставить въ уравненіе (12), чтобъ получить длину перпендикуляра FG и назначить точку G средину дуги, если это нужно.

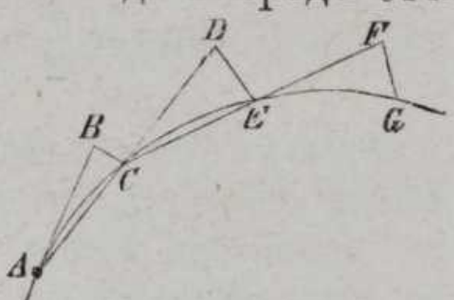
Третья задача. Разбить кривую, когда часть ея недоступна.

Когда можно стать въ точкѣ пересѣченія прямыхъ, то точки касанія и средняя точка кривой назначаются, какъ въ задачѣ первой, а длина кривой опредѣляется по уравненію (4).

Въ случаѣ недоступной вершины, вопросъ рѣшается какъ во второй задачѣ, посредствомъ сѣкущей линіи и назначаютъ двѣ точки касанія и по крайней мѣрѣ одну точку дуги, длина дугъ между назначенными на землѣ точками опредѣляется по уравненіямъ (13) и (14).

Каждая изъ назначенныхъ точекъ можетъ служить для установки теодолита или какъ исходный пунктъ для измѣренія цѣпью или для того и другаго; колышки между препятствіемъ и назначенной занимъ точкою выставляются обратною разбивкою.

Пусть напримѣръ точка B находится въ 2436 саженяхъ отъ начальной точки линіи, послѣдній колышекъ передъ нею имѣетъ слѣдовательно номеръ 243, а первый колышекъ дуги, находящійся въ 4 саженяхъ отъ B имѣетъ номеръ 244; далѣе назначаются колышки обыкновеннымъ порядкомъ и пусть препятствіе начинается за 246. колышкомъ, точка G дуги опредѣленная какимъ бы то ни было образомъ находится уже за препятствіемъ и разстояніе ея отъ B по дугѣ круга пусть 62 сажени, слѣдовательно отъ начальной точки линіи она въ $2436 + 62 = 2498$ саженъ, и находится между колышками 249 и 250; первый отстоитъ отъ нее на 8, второй на 2 сажени. Послѣ установки теодолита въ точкѣ G и вычисленія угловъ соотвѣтствующихъ 8 и 2 саженямъ, откладываютъ первый изъ этихъ угловъ назадъ, ставятъ колышекъ 249, потомъ откладываютъ обыкновенный уголъ, соотвѣтственный 10 саженямъ, ставятъ колышекъ 248 и далѣе сколько можно. Идя впередъ отъ точки G прежде назначаютъ уголъ для 2 сажень и колышка 250, потомъ уголъ, для 10 сажень и колышка 251 и т. д.



Чер. 51.

II. *Назначеніе дугъ посредствомъ ординатъ.* Точки A, C, E, G (чер. 51) находятся на дугѣ круга, описанной радіусомъ r, въ равныхъ или неравныхъ разстояніяхъ. Если продолжить AC и отложить $CD = CE$, то линія DE, которую можно назвать ординатою имѣетъ величину

$$DE = \frac{CE \cdot AD}{2r} \quad \ldots\ldots\ldots (15.)$$

Когда $EG = CE$ то $FG = \frac{CE^2}{r}$ . . . . . (16.)

AB есть касательная а BC перпендикуляръ къ ней и его величина есть

$$BC = \frac{AC^2}{2r} \quad \ldots\ldots\ldots \ldots (17.)$$

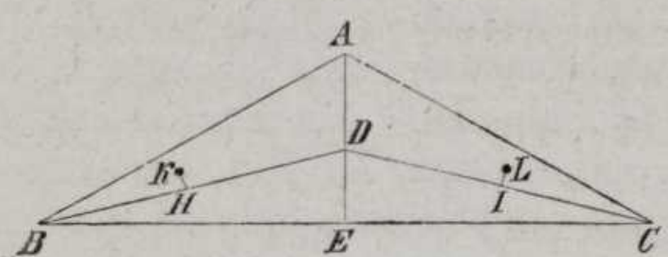
Разбивка отъ точки A, начала дуги, производится слѣдующимъ образомъ: кольцо цѣпи надѣвается на послѣдній забитый передъ точкою A колышекъ и вытягивается во всю длину по прямому направленію до B; расчитавъ величину BC по уравненію (17.) переносятъ конецъ цѣпи

въ C и ставятъ колышекъ, на него надѣваютъ кольцо цѣпи, которую вытягиваютъ по продолженію хорды AC до D; расчитавъ DE по уравненію (15.) переносятъ конецъ цѣпи на это количество въ E; натягиваютъ цѣпь по продолженію хорды CE до F и откладываютъ FG расчитанное по (16.); далѣе все будутъ откладываться величины равныя FG.

При этомъ способѣ погрѣшность будетъ накопляться и дуга не придетъ въ назначенную точку на второй касательной, развѣ случайно; всѣ дѣйствія надобно повторить, чтобы ихъ перевѣрить. Если ошибка не болѣе 1 сажени, то можно всѣ колышки передвинуть на количества пропорціональныя квадратамъ ихъ разстоянія отъ точки A.

III. *Разбивка дуг круга посредствомъ раздѣленія угловъ пополамъ* основана на томъ, что отношеніе между обратными синусами угла и его половины выражается уравненіемъ.

$$\text{Sin ver}\,\frac{B}{2} = 1 - \sqrt{1 - \frac{\text{sin ver B}}{2}} \quad \ldots (18.)$$



Чер. 52.

По прямымъ линіямъ отъ точки ихъ пересѣченія откладываютъ равныя разстоянія и измѣряютъ хорду BC, назначаютъ среднюю ея точку E и измѣряютъ разстояніе AE.

Радіусъ опредѣляется по формулѣ

$$r = \frac{AB \times BE}{AE} \quad \ldots . (19.)$$

а обратный синусъ угла ABC есть

$$\text{sin vers B} = \frac{AB - BE}{AB} \quad \ldots \ldots (20.)$$

По формулѣ (18.) надобно вычислить обратные синусы $\frac{B}{2}, \frac{B}{4}, \frac{B}{8}$ и т. д. замѣчая что когда имѣется обратный синусъ $\frac{B}{2}$, то можно назначать три точки, съ обратнымъ синусомъ $\frac{B}{4}$ семь точекъ; вообще съ обратными синусами половин-

ныхъ угловъ до $\frac{B}{2n}$ получается $2^{n+1} - 1$ точекъ кривой.

Умноживъ каждый вычисленный обратный синусъ на радіусъ, откладываютъ $DE = r\ sin\ ver\ B$, провѣшивъ BD и DC и возставивъ перпендикуляры изъ средины ихъ, надобно отложить по нимъ

$$HK = IL = r \sin ver \frac{B}{2} \ldots\ldots\ldots (21.)$$

D есть средняя точка дуги между B и C, K между B и D, L между D и C.

Два послѣдніе способа разбивки допускаются только тогда, когда нѣтъ угломѣрныхъ инструментовъ: одинъ изъ этихъ способовъ можетъ служить для повѣрки другаго; такъ, напримѣръ, продолживъ прямую BK на разстояніе ей равное, можно измѣрить удаленіе конца линіи отъ точки D и посмотрѣть сходно ли оно будетъ съ вычисленнымъ по формулѣ (16.)

64. Нарѣзка оси сооруженія на землѣ состоитъ въ томъ, что прорѣзываютъ ровикъ шириною до 6 дюймовъ вдоль ея по шнуру, который натягивается между забитыми въ землю колышками; ровикъ этотъ долженъ на футъ или на полфута недоходить до колышковъ. На пересѣченіяхъ оси съ изгородами и заборами, на нихъ дѣлаютъ мѣтки.

65. Постоянные знаки оси дороги суть также колья, бо̀льшихъ размѣровъ нежели тѣ колышки, которые выставляются на оси и которые во время производства работы уничтожаются. Эти постоянные колья выставляются непремѣнно по продолженію каждой касательной къ кривой линіи въ такомъ мѣстѣ, гдѣ земляныхъ работъ производиться не будетъ, и разстояніе ихъ отъ начальныхъ точекъ кривыхъ линій записывается на планахъ.

Когда есть на прямой или кривой части оси дороги какой нибудъ особенно важный пунктъ, то должно выставить по сторонамъ дороги, внѣ работъ, два постоянныхъ знака въ прямой съ нимъ линіи, перпендикулярной или нормальной къ оси и показать на планѣ разстояніе такихъ знаковъ до пункта оси. — Постоянные знаки необходимы для того, чтобы можно было во всякое время возстановить ось дороги и ее провѣрить даже и послѣ того, когда работы кончены.

Колья, служащіе повѣрительными знаками для высотъ, имѣютъ три или четыре фута вышины и дюйма три толщины или квадратные двухъ дюймовъ въ сторонѣ; верхушка такого кола обивается желѣзомъ; еще лучше вбить въколъ желѣзный штырь съ большою выпуклою шляпкою и занести въ журналъ нивелировки высоту рейки, поставленной на верхъ этой шляпки, по этому можно будетъ расчитать высоту шляпки надъ общимъ горизонтомъ и знать слѣдовательно ея высоту относительно другихъ нивелированныхъ точекъ. Такіе колья ставятся вблизи всѣхъ тѣхъ мѣстъ, гдѣ предполагаются каменныя постройки, гдѣ кончаются или начинаются насыпи и выемки, а на желѣзныхъ дорогахъ противъ тѣхъ точекъ оси, гдѣ уклонъ дороги перемѣняется.

Какъ только выведена какая нибудь часть каменнаго строенія, такъ на ней ставятся знаки для повѣри высотъ.

66. Исполнительные прорѣзы и книга высотъ. Для составленія исполнительныхъ прорѣзовъ дѣлается точное нивелированіе вдоль оси сооруженія, назначенной на землѣ, и по перпендикулярнымъ къ ней направленіямъ: всѣ выставленные по оси колышки забиваются въ землю въ ровень съ ея поверхностью и на каждый изъ нихъ ставятъ рейки, которыхъ показанія записываются; когда поверхность земли между двумя колышками представляетъ изгибъ, то берется нѣсколько промежуточныхъ реекъ; рейки ставятся также на пересѣченіяхъ оси сооруженія съ дорогами, оврагами, рвами и другими предметами мѣстности. Нивелированіе это должно быть непремѣнно повторено для повѣрки.

Поперечное нивелированіе производится тамъ, гдѣ этаго требуетъ мѣстность (§ 54); если поверхность земли очень не ровна по сторонамъ дороги, то надобно составлять поперечные прорѣзы у каждаго колышка забитаго на оси; направленіе поперечнаго нивелированія должно быть перпендикулярное къ оси.

Послѣ вычисленія высоты всѣхъ нивелированныхъ точекъ составляются чертежи какъ продольнаго, такъ и поперечныхъ прорѣзовъ согласно съ тѣмъ, что сказано объ объ этомъ предметѣ въ § 8 а именно: что въ продольномъ прорѣзѣ горизонтальныя разстоянія должны быть въ томъ же масштабѣ, какъ и въ планѣ; а высоты въ усемеренномъ или удесятеренномъ масштабѣ; въ поперечныхъ прорѣзахъ горизонтальныя разстоянія дѣлаются въ томъ же масштабѣ, какъ и высоты.

Удобно вычерчивать поперечные прорѣзы въ особой тетради, прилагаемой къ продольному прорѣзу; лѣвая сторона чертежа должна соотвѣтствовать лѣвой сторонѣ относительно оси нивелированія, когда идутъ по ней отъ начальнаго пункта.

Книга высотъ (Level book) при исполнительныхъ прорѣзахъ содержитъ подробное означеніе высотъ поверхности земли и предполагаемаго сооруженія а также и другія, относящіеся къ этому предмету свѣденія. Каждая страница этой книги раздѣлена на графы, которыхъ число, расположеніе и содержаніе зависитъ отъ составляющаго книгу Инженера. Здѣсь предлагается примѣръ книги высотъ при проэктированіи желѣзной дороги.

1ая графа: номера колышковъ, забитыхъ по линіи въ разстояніи 10, 20 или 30 сажень одинъ отъ другаго.

2ая графа: разстояніе колышковъ до начальной точки линіи.

3ая графа: означеніе предметовъ, встрѣчающихся между колышками, какъ то дороги, заборы, ручьи и т. п., также начальныя и конечныя точки закругленій.

4ая графа: высоты поверхности земли у колышковъ, въ промежуточныхъ точкахъ и высоты повѣрительныхъ знаковъ.

5ая графа: высота поверхности рельсовъ или предполагаемаго сооруженія.

6ая графа: высота проэкта или поверхности землянаго полотна дороги.

7ая графа: глубина выемокъ или разность чиселъ 4й и 6й графъ.

8ая графа: высота насыпей или разность чиселъ 6й и 4й графъ.

9ая графа: уклонъ поверхности земли влѣво отъ оси со ссылкою на поперечные прорѣзы, если онъ не однообразный.

10ая графа: уклонъ поверхности земли вправо отъ оси.

11ая графа: *полуширина* (half-breadth) или разстояніе отъ оси до лѣваго края сооруженія.

12ая графа: полуширина вправо.

13ая графа: вся полуширина (total half-breadth) влѣво, включая обрѣзъ дороги, и т. п.

14ая графа: вся полуширина вправо.

15ая графа: углы оси сооруженія съ ручьями, доро-

гами и пр. съ означеніемъ влѣво или вправо будетъ отъ оси острый уголъ.

16ая графа. Примѣчанія: описаніе постоянныхъ знаковъ, уклоны, радіусы кривизны, ширина и отверстіе мостовъ, путепроводовъ, тонелей, измѣненіе высоты пересѣкаемыхъ осью дорогъ и т. п. съ чертежами, если нужно, или съ ссылками на нихъ.

Если существующій путь сообщенія долженъ быть измѣненъ въ слѣдствіи постройки новаго сооруженія, то составляется для него такой же продольный исполнительный прорѣзъ съ описаніемъ въ книгѣ высотъ.

67. Назначеніе ширины полосы земли производится откладываніемъ на мѣстѣ въ направленіи перпендикулярномъ къ оси полуширины сооруженія и обрѣзовъ его, точки отмѣчаются колышками на землѣ, и между ними потомъ дѣлается нарѣзка для означенія границы какъ производимыхъ работъ, такъ и отходящей подъ сооруженіе земли: по послѣдней устраивается въ возможно скоромъ времени изгородь.

Вся полуширина откладывается на оцѣночныхъ планахъ, гдѣ проводятся линіи границъ отходящихъ подъ сооруженіе земель; съ этихъ плановъ берутся копіи по частямъ, для передачи владѣльцамъ земелъ и составленія условій объ продажѣ или уступкѣ этихъ земель.

68. Постоянные знаки отдѣльныхъ сооруженій суть колья, которые ставятся для назначенія мѣстъ, гдѣ будутъ отдѣльныя постройки предполагаемаго сооруженія; при установкѣ ихъ руководствуются тѣмъ, что было сказано въ § 65 о постоянныхъ знакахъ оси. Если бы такою отдѣльною постройкою былъ мостъ, то на землѣ слѣдовало бы назначить мѣста, которыя должны занять его устои, а въ нихъ главныя точки суть два исходящіе ихъ угла, обращенные къ рѣкѣ; ихъ то и надобно отмѣтить знаками, которые были бы внѣ работъ: два кола можно помѣстить по обѣимъ сторонамъ оси и по продолженію лицевой грани устоя, другіе два такъ, чтобы перпендикуляры, опущенные изъ нихъ на переднюю грань устоя, падали на его углы.

69. Назначеніе высоты насыпей производится установкою кольевъ, которыхъ верхушки должны быть въ проэктной линіи. Для этого устанавливаютъ нивелиръ и направляютъ его на рейку, которая помѣщается на ближайшемъ повѣрительномъ знакѣ для нивелированія; изъ книги высотъ берется разность между проэктной высотою и высо-

тою повѣрительнаго знака; разность эта придается къ высотѣ рейки, если знакъ выше. Это будетъ высота рейки, поставленной на колъ для означенія насыпи, когда онъ имѣетъ надлежащую высоту.

Двухъ такихъ кольевъ поставленныхъ на оси въ разстояніи 5 или 10 сажень одинъ отъ другаго въ началѣ насыпи достаточно для назначенія ея поверхности подъ одинакимъ уклономъ помощью визирокъ (boning-road): это бруски одинакой длины, до 4 футъ, съ прибитыми на верху ихъ подъ прямымъ угломъ досечками или цѣлями. Для повѣрки высоты насыпи двѣ визирки ставятся на верхушки забитыхъ кольевъ, а третья визирка на насыпь и если ея цѣль въ одной линіи съ цѣлями другихъ визирокъ, то насыпь имѣетъ надлежащую высоту.

Подобнымъ же образомъ повѣряется глубина выемокъ.

70. Назначеніе и разбивка тонеля начинается назначеніемъ его оси на поверхности земли описанными способами, и прорытіемъ колодцевъ по оси тонеля или въ сторонѣ отъ него въ приличныхъ разстояніяхъ одинъ отъ другаго, до глубины предполагаемаго тонеля. Для означенія оси тонеля подъ землею надобно имѣть на днѣ колодца двѣ точки его оси или линіи ей параллельной въ такомъ удаленіи одна отъ другой, чтобъ можно было по нимъ вести линію въ ту или другую сторону: точки эти обозначаютъ гвоздями вбиваемыми въ крѣпи (поперечные брусья) галерей или колодцевъ.

Прежде надъ колодцемъ ставилась деревяная рама и къ верхнимъ ея брусьямъ, значительно возвышавшимся надъ землею прикрѣпляли шнуры отвѣсовъ по направленію данной прямой, отвѣсы эти опускались до дна колодца и обозначали тамъ направленіе оси; но такъ какъ шнуры отвѣсовъ уклонялись отъ должнаго направленія во время вѣтра, то этотъ способъ теперъ оставленъ.

По способу Симмса выставляется по оси въ разстояніи 10 сажень по ту и другую сторону колодца два постоянныхъ знака, которые должны оставаться во все время производства работъ; на нихъ помѣщаются досечки съ круглыми отверстіями, которыхъ центры вывѣряются по оси при помощи теодолита, а чтобъ хорошо было видно отверстіе, позадь досечки во время визированія помѣщается кусокъ бумаги. Сквозь отверстія двухъ знаковъ продѣвается шнуръ, который ляжетъ на верхнюю раму ко-

лодца: на поперечныя брусья этой рамы кладутся подъ шнуръ двѣ досечки, выступающія краями дюйма на три отъ края рамы внутрь колодца, и въ назначенныхъ на нихъ точкахъ противъ шнура укрѣпляютъ отвѣсы, которые доходятъ до дна колодца; по двумъ отвѣсамъ на днѣ колодца назначается направленіе галлереи гвоздями забиваемыми въ ея крѣпи, повѣрка направленія галереи производится посредствомъ зажженыхъ свѣчей, вставленныхъ въ висячіе подсвѣчники, которые привѣшиваются къ верхнимъ крѣпямъ рамъ.

Окончательное назначеніе оси тонеля производится гвоздями, забиваемыми въ верхнія крѣпи рамъ; можно дѣлать нарубки на брускахъ, которые класть внизу рамъ, но чтобъ нарубки эти не стирались отъ прохода людей и провоза матеріаловъ, надобно бруски держать въ сторонѣ и класть на мѣста только въ случаѣ надобности повѣрить линію, мѣста эти должны быть обозначены вырубками въ боковыхъ крѣпяхъ галереи, куда бруски закладываются.

Кривая линія назначается въ тонелѣ при помощи теодолита на низкомъ штативѣ, вмѣсто кольевъ употребляются зажженыя свѣчи.

Когда колодцы находятся въ сторонѣ отъ оси тонеля, то въ нихъ назначаются линіи параллельныя оси тонеля какъ на поверхности земли, такъ и на днѣ ихъ, а потомъ уже сквозь поперечныя галереи ось переносится въ самый тонель: работа эта должна быть произведена очень тщательно, потому что линіи, по которымъ надобно брать направленія оченъ коротки.

Для назначенія высотъ въ тонелѣ долженъ быть на поверхность земли у каждаго колодца повѣрительный нивелировочный знакъ: когда колодецъ окончательно обдѣланъ деревомъ или камнемъ, тогда постоянный знакъ въ него переносится; для этаго вверху колодца закладываютъ въ каменную кладку или забиваютъ въ деревянную обдѣлку колодца родъ выступающаго кранштейна, сдѣланнаго изъ желѣза; на него ставится рейка и такимъ образомъ высота его опредѣляется относительно постояннаго знака на поверхности земли.

Въ самомъ тонелѣ постояннымъ знакомъ можетъ быть какая нибудь точка *пяты обратнаго свода*, т. е. линіи гдѣ внутренняя поверхность этаго свода пересѣкается съ плоскостью боковой стѣны: такъ какъ высота этой точки

относительно поверхности рельсовъ дана поперечнымъ прорѣзомъ тонеля, то можно вычислить ея высоту относительно общаго горизонта, а также относительно кранштейна вверху колодца.

Для назначенія на днѣ колодца пяты обратнаго свода спускается въ колодецъ желѣзная цѣпь: она состоитъ изъ колѣнъ которыхъ длина можетъ быть въ одну сажень; при опусканіи цѣпи связываютъ столько колѣнъ, сколько въ назначаемой высотѣ находится полныхъ сажень и сверху прибавляется еще колѣно, на которомъ отмѣчается дробъ сажени посредствомъ кольца на него надѣтаго и прижатаго къ нему винтомъ. Цѣпь спускается въ колодецъ сквозь дыру или вилку сдѣланную въ кранштейнѣ, діаметръ дыры или ширина вилки должны быть меньше діаметра кольца, надѣтаго на верхнее колѣно цѣпи для того, чтобы когда цѣпь опущена, она могла бы держаться этимъ кольцомъ на кранштейнѣ; нижній конецъ цѣни будетъ на высотѣ точки, которую нужно назначить въ тонелѣ. Точка эта назначается круглымъ отверстіемъ въ досчечкѣ, прибиваемой къ горизонтальному или отвѣсному брусу рамы въ галереѣ, или колу забитому въ землю; центръ отверстія долженъ быть на одной горизонтальной линіи съ концомъ цѣпи. Послѣ производства части каменной кладки въ тонелѣ высоту знака надобно повѣрить и укрѣпить постоянный знакъ въ каменной кладкѣ тонеля.

Особенности при назначеніи на мѣстѣ и разбивкѣ сооруженій разнаго рода изложены будутъ при описаніи постройки этихъ сооруженій.

ГЛАВА VI.

МОРСКАЯ СЪЕМКА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХЪ РАБОТЪ.

71. Сигналы на сушѣ и на водѣ. Морская съемка производится съ навигаціонною, географическою или другою цѣлью; здѣсь будетъ говориться только объ съемкахъ, имѣющихъ строительную цѣль и объ составленіи плановъ судоходныхъ водъ для начертанія проэктовъ морскихъ сооруженій. Главный предметъ такой съемки есть опредѣленіе формы дна моря или рѣки, изображеніе его на бумагѣ въ требуемомъ для проэкта масштабѣ, опредѣленіе уклона поверхности воды, направленія и скорости теченій; вмѣстѣ съ тѣмъ изслѣдуется и грунтъ дна или русла.

Морская съемка должна имѣетъ основаніемъ съемку прилежащей къ морю страны; этою послѣднею съемкою должно быть опредѣлено положеніе нѣсколькихъ точекъ земной поверхности, въ которыхъ поставлены *земные сигналы*, напримѣръ вѣхи, и относительно которыхъ опредѣляется положеніе точекъ на водѣ. Точки на водѣ означаются *буйками* и бакенами съ вѣхами или другими знаками; чтобы буекъ не сходилъ съ мѣста, буйрепъ, прикрѣпленный однимъ концомъ къ якорю, проходитъ сквозь кольцо при буйкѣ и имѣетъ на другомъ концѣ гирю.

72. Постоянная точка для высотъ должна быть на берегу и высота ея должна быть извѣстна относительно другихъ постоянныхъ точекъ на берегу, которыхъ число и разстояніе зависитъ отъ обстоятельствъ; высоты эти опредѣляются обыкновеннымъ нивелированіемъ.

На морскахъ картахъ назначается всегда *высота малой воды* т. е. глубина дна относится къ средней поверхности низкихъ водъ; эта поверхность можетъ быть принята за основную для выраженія изгибовъ дна въ томъ только случаѣ, когда она горизонтальна: но въ рѣкахъ, а также у морскихъ береговъ, она наклонна къ горизонту, а потому за основную надобно принимать какую нибудь произвольную поверхность и къ ней относить промѣры дна, когда это дѣлается для строительной цѣли.

73. Футштокъ служитъ для наблюденія надъ перемѣнами высоты водной поверхности; перемѣны эти, важныя сами по себѣ, имѣютъ для производящаго промѣры глубины еще ту важность, что по наблюденіямъ надъ ними, онъ приводитъ всѣ промѣренныя имъ глубины къ одной горизонтальной поверхности.

Самый простой футштокъ состоитъ изъ отвѣсно поставленной рейки съ дѣленіями на футы и десятыя доли или на сажени и сотыя доли, нуль дѣленій бываетъ у основанія рейки: рейка должна быть прочно утверждена, чтобы дѣйствіемъ волнъ не могла быть снесена съ мѣста или разрушена. Если берегъ отмѣлый, который при отливахъ осушается на далекое разстояніе, тогда однаго футштока для наблюденія воды не достаточно, и надобно поставить нѣсколько вспомогательныхъ на всемъ пространствѣ отъ низкой до высокой воды. Низшее дѣленіе самаго отдаленнаго отъ берега футштока означается нулемъ и высота его относительно постояннаго знака на берегу должна быть опредѣлена нивелированіемъ; на слѣдующемъ футштокѣ нижнее дѣленіе должно быть одинаковаго счета съ верхнимъ дѣленіемъ перваго футштока и въ одномъ съ нимъ уровнѣ, что опредѣляется также нивелированіемъ, нижнее дѣленіе третьяго футштока соотвѣствуетъ верхнему втораго и т. д.; всѣ футштоки образуютъ тогда части одной рейки.

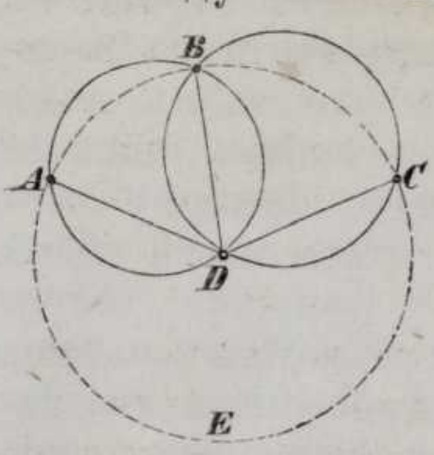
Мѣста, гдѣ поставить футштоки, и число ихъ зависитъ отъ степени точности, съ которою нужно опредѣлить поверхность воды: когда она имѣетъ значительное наклоненіе къ горизонту, тогда футштоки ставятся чаще; наклоненіе это узнается по разности наблюденій, произведенныхъ надъ высотою воды въ разныхъ мѣстахъ. Если бъ даже поверхность воды не имѣла уклона, то для повѣрки замѣченныхъ высотъ полезно имѣть два футштока въ значитель-

номъ отдаленіи одинъ отъ другаго и сличать ихъ показанія. Для производства наблюденій надъ высотою воды должно выбирать такихъ людей, на которыхъ можно полагаться, каждый изъ нихъ долженъ имѣть часы, которые повѣряются ежедневно главнымъ наблюдателемъ.

Для приведенія глубины къ одному горизонту дѣлаютъ наблюденія каждыя четверть часа; но для опредѣленія законовъ, которымъ слѣдуютъ приливы въ извѣстной мѣстности, надобно записывать высоту воды черезъ каждыя десять минутъ въ теченіи однаго часа до прилива и отлива и однаго часа послѣ того, въ остальное же время промѣжутки между наблюденіями могутъ быть получасовые.

Для промѣровъ при проэктированіи морскаго сооруженія такіе футштоки очень достаточны, потому что когда поверхность моря на столько спокойна, что можно дѣлать промѣры, тогда можно замѣтить среднее показаніе между верхомъ и низомъ волны по футштоку. Но для болѣе точныхъ наблюденій ставится *трубчатый футштокъ*; это металическая труба, поставленная отвѣсно, внизу ея есть отверстія, сквозь которыя входитъ вода; измѣненіе ея высоты наблюдается по рейкѣ, помѣщенной на поплавкѣ внутри трубы. Въ самодѣйствующемъ футштокѣ къ поплавку прикрѣпленъ карандашъ, отмѣчающій высоту воды на бумагѣ, передвигаемой равномѣрно часовымъ механизмомъ.

Всѣ наблюденія надъ измѣненіями высоты относятся потомъ къ постоянной повѣрительной точкѣ на берегу, которой высота надъ нулемъ футштоковъ извѣстна. Средняя между всѣми высотами, замѣченными въ теченіи однаго или нѣсколькихъ полныхъ лунныхъ мѣсяцевъ, есть высота *средней поверхности моря.*



Чер. 53.

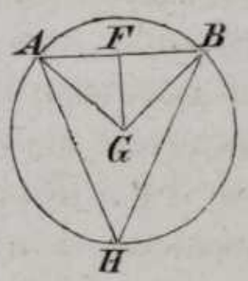
74. Опредѣленіе точекъ на морѣ. Нужно опредѣлять положеніе точки D, (чер. 53.) въ которой находится съемщикъ на лодкѣ или на суднѣ: для этаго надобно измѣрить углы, которые составляютъ визирныя линіи отъ точки D на три береговыя вѣхи A, B, C.

Хорошо если у наблюдателя есть три секстанта: однимъ онъ измѣряетъ уголъ ADB, другимъ BDC, третьимъ повѣрительный уголъ ADC, тогда онъ можетъ не читать показаній ноніусовъ и измѣреніе

угловъ можетъ быть произведено такъ быстро, что перемѣщеніе судна не будетъ имѣть вліяніе на величину угловъ; измѣреніе трехъ угловъ тремя наблюдателями въ одно время было бы лучше, если бы всѣ три наблюдателя были одинаково искусны въ снимнаніи угловъ, но даже и въ этомъ случаѣ хорошо, если каждый изъ нихъ сниметъ всѣ три угла, тогда получится три ряда наблюденій и будетъ взаимная повѣрка. При выборѣ вѣхъ A, B, C надобно стараться, чтобъ онѣ не были на одной окружности съ точкою D, если есть сомнѣніе на счетъ этаго, то лучше снять еще уголъ на четвертую вѣху.

Для рѣшенія вопроса объ опредѣленіи точки D есть разные способы.

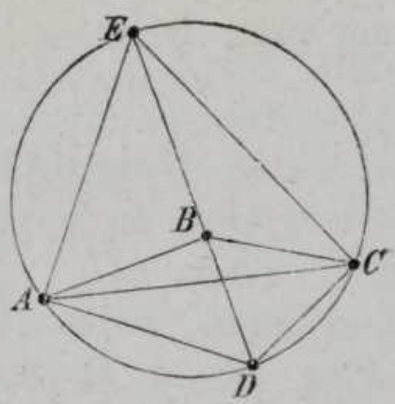
I. *Посредствомъ двухъ окружностей.* Черезъ точки A и B надобно провести окружность такъ, чтобы уголъ, котораго вершина на этой окружности, а стороны проходятъ чрезъ A и B, былъ равенъ углу ADB. При точнахъ A и B (чер. 54) строятся углы BAG и ABG составляющіе пополненіе даннаго до 90^0; точка G есть центръ круга, уголъ AGB при немъ образовавшійся двое болѣе даннаго угла; а какъ всякій уголъ AHB, имѣющій вершину на окружности, вдвое меньше угла при центрѣ, соотвѣтствующаго тойже дугѣ, то этотъ уголъ равенъ данному.



Чер. 54.

На планѣ (чер. 53) чертится по этому правилу окружность, содержащая уголъ ADB, черезъ точки A и B; потомъ черезъ B и C проводится окружность, содержащая уголъ BDC: пересѣченіемъ этихъ опружностей опредѣляется положеніе точки D.

Если бы точка D была на окружности, проходящей чрезъ точки A, B, C, то обѣ проведенныя черезъ A и B, чрезъ B и C окружности слились бы въ одну, назначенную на чертежѣ точками. Когда D находится близь этой окружности, то пересѣченіе производитъ подъ очень острымъ угломъ и положеніе точки D не вѣрно опредѣляется.



Чер. 55.

II. *Посредствомъ круга и прямой.* При линіи AC (чер. 55.) на планѣ строится уголъ EAC равный BDC, и уголъ ACE равный ADB; стороны этихъ угловъ пере-

сѣкутся въ точкѣ E; черезъ нее и черезъ точки A и C проводится окружность, черезъ нее же и точку B проводится прямая; пересѣченіе прямой линіи съ окружностью есть точка D; когда точка D близка къ окружности проходящей чрезъ A, B и C, тогда точка E получается на планѣ очень близко къ B и трудно провести черезъ нихъ вѣрную прямую.

III. *Посредствомъ прозрачной бумаги.* Опредѣленные секстантами углы ADB и BDC наносятся на прозрачную бумагу по обѣ стороны одной прямой, бумага эта кладется на планъ и передвигается пока три начерченныя на ней прямыя пройдутъ чрезъ точки A, B и C плана, которыя видны насквозь. Есть нарочно для рѣшенія этаго вопроса сдѣланный инструментъ (station pointer), состоящій изъ трехъ линеекъ, обращающихся около одной точки, у средней линейки утверждена дуга круга съ дѣленіями въ обѣ стороны отъ ея края; боковыя линейки ставятся на дѣленія соотвѣтствующія угламъ ADB и BDC и инструментъ кладется на планъ.

IV. *Тригонометрическими изчисленіями.* Если назвать буквами a и b линіи AB и BC, а буквою B уголъ ABC, которые есть на планѣ и потому были измѣрены въ время производства съемки, или вычислены для нанесенія на планъ точекъ A, B и C; если назвать опредѣленные секстантами углы ADB и BDC буквами α и β и положить что:

$$\frac{a \sin\beta \cos(360^0 - B - \alpha - \beta)}{b \cos\alpha} = \operatorname{tang}\varphi \ldots . (1.)$$

то

$$\operatorname{tang} BCD = \frac{a \sin\beta \cos\varphi \sin(360^0 - B - \alpha - \beta)}{b \sin(\alpha + \varphi)} \ldots . (2.)$$

$$\sin BAD = \frac{b \sin\alpha}{a \sin\beta} \sin BCD \ldots . (3.)$$

$$BD = \frac{b \sin BCD}{\sin\beta} \ldots . (4.)$$

Если изъ тѣхъ точекъ, которыя нужно опредѣлять не видно береговыхъ вѣхъ, то берутся вспомогательныя точки на водѣ, изъ которыхъ береговыя вѣхи видны, и опредѣливши ихъ положеніе, ставятъ въ нихъ бакены съ вѣхами:

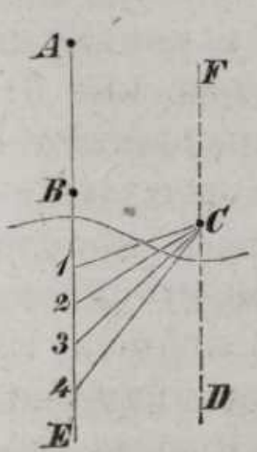
по этимъ знакамъ опредѣляются уже искомыя точки, но такое дѣйствіе не надежно.

75. Промѣры дѣлаются *лотомъ*, свинцовою коническою гирею съ размѣреннымъ линемъ, привязаннымъ къ его вершинѣ и съ выемкою для сала, которою достаютъ со дна куски грунта у поверхности его; для полученія образцовъ грунта ниже поверхности дна употребляется *грунтовой лотъ*, онъ состоитъ изъ полутора пудовой гири, внизу которой придѣланъ желѣзный стержень длиною около полусажени съ зазубринами; стержень этотъ намазанный саломъ входитъ въ грунтъ, а при извлеченіи выноситъ на зазубринахъ своихъ части болѣе глубокихъ слоевъ дна; встрѣчая камень онъ притупляется или получаетъ царапины. *Лотлинь* или веревка, на которой спускается лотъ, до назначенія на немъ дѣленій на футы и десятыя доли или сажени и сотыя ихъ доли, долженъ быть хорошо вымоченъ, чтобы при погруженіи въ воду уже болѣе не сжимался; повѣрка дѣленій должна производится передъ началомъ ежедневной работы и послѣ ея окончанія; дѣленія назначаются веревочками, вплетаемыми въ линь съ узелками, означающими число дѣленій, кусками кожи разной формы, кусками разноцвѣтнаю флагдука и т. п. Въ мелкой водѣ промѣры дѣлаются рейкою съ свинцовою тяжестью на концѣ.

Промѣры дѣлаются по прямымъ линіямъ въ томъ направленіи, какое нужно; большею частью они слѣдуютъ наибольшему уклону дна и слѣдовательно почти перпендикулярны къ берегу. При производствѣ каждаго промѣра съемщикъ записываетъ время, глубину и опредѣляетъ мѣсто.

Положеніе точекъ промѣра опредѣляется углами или ровною греблею.

I. *Посредствомъ угловъ.* На чер. 56 *A* и *B* сутъ вѣхи на берегу, означающія направленіе, по которому будутъ дѣланы промѣры, въ сторонѣ довольно далеко отъ этой линіи ставится на опредѣленномъ мѣстѣ третья вѣха *C*. По линіи *BE* ѣдутъ въ лодкѣ, рулевой долженъ держаться прямаго направленія на вѣхи *B* и *A*; каждый разъ, что дѣлается промѣръ, съемщикъ измѣряетъ секстантомъ уголъ между направленіями на *B* и на *C*, такъ опредѣлятся углы *B1C*, *B2C*, *B3C* и т. д.; точка *C*



Чер. 56.

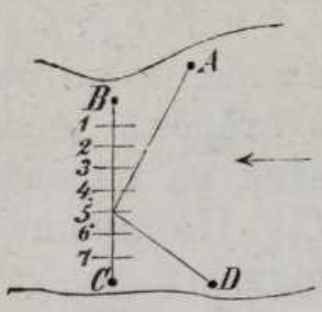
должна быть такъ выбрана, чтобъ углы эти были не менѣе 30.

Для назначенія точекъ на планѣ проводится чрезъ точку *C* прямая *DF* параллельная *AB* и при точкѣ *C* строятся углы равные снятымъ въ время промѣровъ, откладывая ихъ отъ линіи *CD;* пересѣченіе сторонъ этихъ угловъ съ линіей *BE* будутъ тѣ точки, въ которыхъ дѣланы промѣры.

II. *Посредствомъ ровной гребли.* На чер. 56 *AB* представляетъ означенное вѣхами направленіе промѣра. Съемщикъ ѣдетъ въ лодкѣ съ привычными хорошими гребцами, изъ которыхъ одинъ считаетъ громко число гребковъ, какъ только онъ выкрикнетъ условное число гребковъ 5, 10, 15, то гребля прекращается и правая или лѣвая сторона поднимаютъ весла; за тѣмъ бросаютъ лотъ, а потомъ опускаютъ весла на воду и когда лотовой объявитъ цифру глубины и грунтъ, начинаютъ снова грести. Точка *E*, къ которой прійдутъ или отъ которой начинаютъ промѣры, должна быть опредѣлена посредствомъ угла, который снятъ при ней секстантомъ на два береговые предмета, имѣющіеся на планѣ.

Для назначенія точекъ промѣра на этомъ планѣ нужно построить на немъ сначала сегментъ, содержащій измѣренный при точкѣ *E* уголъ, нанести погомъ точку *E;* пространство между этою точкою и берегомъ дѣлится на столько равныхъ частей, сколько сдѣлано было промѣровъ.

Въ быстрой рѣкѣ почти невозможно держаться на веслахъ прямаго направленія, по этому переѣздъ дѣлается на *вертахъ*, *A* и *D* (чер. 57) закинутыхъ у береговъ нѣсколько выше линіи промѣра напримѣръ на четверть ея длины; канаты верповъ навиты на два ворота, изъ которыхъ одинъ помѣщенъ на носу, а другой на кормѣ лодки. Натягивая одинъ и отпуская другой канатъ, предвигаются отъ *B* къ *C* по прямому направленію; точки, гдѣ дѣланы промѣры могутъ быть опредѣляемы посредствомъ угловъ или иначе.



Чер. 57.

Зимою всего удобнѣе производитъ промѣры глубины въ водахъ, которыя замерзаютъ; на поверхности льда разбиваются тогда и отмѣриваются линіи какъ на землѣ, и

въ назначенныхъ точкахъ пробиваютъ лунки во льду для дѣланія промѣровъ лотомъ или рейкою, смотря по глубинѣ.

Линія промѣра продолжается иногда и по берегу, для опредѣленія его формы, посредствомъ обыкновеннаго нивелированія.

76. Вычисленіе глубины относительно поверхности воды, принятой за основную состоитъ въ вычисленіи разностей между измѣренною глубиною и тѣмъ возвышеніемъ воды надъ принятымъ уровнемъ, какое было во время производства промѣра; возвышеніе это берется съ показаній футштока, если они относятся къ тому же времени, или узнается посредствомъ интерполяціи между двумя ближайшими по времени наблюденіями надъ высотами воды. Когда всѣ глубины относятся къ среднему горизонту низкихъ водъ, то многія глубины, записанныя во время прилива, дадутъ отрицательные выводы, это будутъ *сухія* высоты, которые надписываются на планѣ въ скобкахъ.

Когда нѣтъ прямыхъ наблюденій надъ измѣненіями горизонта воды, тогда глубины вычисляются; надобно для этаго знать высоту прилива надъ среднимъ уровнемъ моря, время, въ которое производились промѣры, и продолжительность прилива, то есть промежутокъ времени между мгновеніями когда бываетъ самая высокая и самая низкая вода, обыкновенно этотъ промежутокъ бываетъ въ 6 часовъ 12 минутъ, но вообще различенъ въ разныхъ мѣстахъ и въ разное время.

Пусть H высота средняго горизонта воды надъ уровнемъ, къ которому относятся промѣры; r возвышеніе воды прилива надъ среднимъ горизонтомъ; D продолжительность прилива, t время промѣра до или послѣ достиженія приливомъ наибольшей высоты, h высота воды надъ принятымъ уровнемъ во время промѣра.

Эту высоту надобно вычесть изъ глубины промѣра.

$$h = \mathrm{H} + r \cdot \cos 180^{o} \frac{t}{\mathrm{D}}; \ldots\ldots\ldots (1.)$$

77. Линіи равной глубины имѣютъ одинакое значеніе съ горизонталями поверхности земли; это линіи, которыя проходятъ черезъ точки, имѣющія одинакую высоту относительно принятаго уровня: принято линіи одно саженной глубины означать одноточными линіями, двухсаженныя

двуточными линіями, трехсаженныя троеточными линіями и т. д.

Линіи урѣза высокой и низкой воды суть также горизонтали.

78. Теченія, волны. Направленіе и скорость теченія прилива означаются на планахъ стрѣлками оперенными съ надписанными около нихъ цифрами, означающими число узловъ на часъ (узелъ содержитъ $1^3/_4$ версты); теченіе отлива означается неопренною стрѣлкою.

Направленіе теченія мимо стоящаго на якорѣ корабля узнается посредствомъ спускаемаго на воду поплавка по углу, который составляетъ направленіе его движенія съ направленіемъ на данный предметъ. Скорость теченія узнается Массеевымъ лагомъ, въ которомъ повороты колеса съ лопатками передаются счетному механизму.

Направленіе и скорость теченія можно узнать по легкой вѣхѣ съ грузомъ на концѣ для того, чтобы она держалась на водѣ отвѣсно; посредствомъ двухъ одновременныхъ наблюденій съ угломѣрными инструментами изъ двухъ извѣстныхъ точекъ, можно на планѣ назначить мѣста вѣхи при первомъ и второмъ наблюденіи; раздѣливши разстояніе между этими точками на разность временъ наблюденій можно получить скорость: для этаго нужно двухъ наблюдателей, которые должны дѣлать одно временныя наблюденія.

Надобно сверхъ всего этаго изслѣдовать и замѣтить направленіе, скорость и высоту волнъ отъ гребня до основанія.

79. Разныя свѣдѣнія. Кромѣ глубины, теченій, скоростей и другихъ вышесказанныхъ свѣденій на планѣ, составленномъ для проэкта морскаго сооруженія, надобно показать грунтъ дна: это дѣлается обыкновенно буквами напр. *и* — илъ, *п* — песокъ, *х* — хрящь, *k* — камень. Подробное изслѣдованіе грунта производится водолазами, а на большую глубину подъ поверхностью дна буреніемъ и выводы, полученные этими изслѣдованіями, показываются на чертежахъ. На планѣ должны быть показаны всѣ существующіе на мѣстѣ предметы какъ то: маяки, баканы, вѣхи и т. п.

80. Опредѣленіе высотъ секстантомъ. Пониженіе горизонта. Когда высота предмета опредѣляется на морѣ по измѣреніи угла между направленіями на этотъ предметъ

и на край морскаго горизонта, то изъ полученнаго угла надобно вычитать *пониженіе горизонта*, т. е. отклоненіе его внизъ отъ истинной горизонтальной плоскости, проходящей черезъ глазъ наблюдателя.

Истинная величина этаго пониженія неизвѣстна, потому что она зависитъ отъ измѣняющейся силы преломленія атмосферы, но средняя его величина можетъ быть опредѣлена слѣдующими формулами

$$\delta = 0.9 \times 206264''.8 \sqrt{\frac{2h}{r}} = 151''.977 \sqrt{h} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

здѣсь δ пониженіе горизонта въ секундахъ, h возвышеніе глаза наблюдателя надъ поверхностью воды въ саженяхъ, r есть радіусъ земли.

ГЛАВА VII.

ПЕРЕЧЕРЧИВАНІЕ, УВЕЛИЧЕНІЕ И УМЕНЬШЕНІЕ ПЛАНОВЪ.

81. **Прорисовка** плана на положенный на него листъ прозрачной бумаги есть лучшій способъ снять вѣрную копію съ плана въ томъ же масштабѣ; задняя сторона прозрачной бумаги обсыпается мелкимъ порошкомъ графита или угля и кладется на листъ чистой бумаги, по всѣмъ линіямъ начерченнаго на ней плана проводятъ *копировкою*, тупымъ остріемъ, и снявъ прозрачную бумагу получаютъ на чистой копію съ плана, сдѣланную какъ будто карандашомъ; всѣ линіи можно потомъ обвести тушью и вытереть бумагу резиною или окатить водою, если бумага наклеена на доскѣ. Вмѣсто порошку графита можно проложить между прозрачной и чистой бумагой свинцовый листъ.

Копированіе сквозь стекло возможно только тогда, когда планъ не наклеенъ на холстъ: для этаго надобно имѣть хорошое плоское стекло называемое копировальныхъ стекломъ, на него кладутъ планъ и потомъ чистую бумагу, а подъ стекломъ должно быть зеркало, которое отражало бы свѣтъ на это стекло.

Скалываніе чертежа иглою можетъ быть выгодно только тогда, когда онъ содержитъ преимущественно прямыя линіи, какъ напримѣръ нивеллировочный прорѣзъ; при этомъ скалываніи оригиналъ портится.

82. **Гравированіе, литографированіе и печатаніе плановъ.** Когда планъ предполагается гравировать на мѣди, то прозрачную бумагу съ начерченной на ней копіей плана кладутъ лицомъ на мѣдную доску и переводятъ чертежъ иглою; оттиски дѣлаемые на сырой бумагѣ, сжимаются

при высыханіи на 1—400ю и до 1—200й первоначальной величины: по этому всѣ размѣры плана должны быть сдѣланы по масштабу начерченному на планѣ, и на каждомъ листѣ плана долженъ быть отдѣльный масштабъ. Стягиваніе бумаги при высыханіи бываетъ иногда неравномѣрно въ всѣ стороны, по этому на нивеллировочныхъ прорѣзахъ, масштабъ высотъ надобно вычертить параллельно линіямъ высотъ.

Когда нужна большая точность на гравированныхъ чертежахъ, то главныя или основныя точки мѣстности наносятся прямо на мѣдную доску по вычисленнымъ координатамъ или измѣреннымъ на мѣстѣ величинамъ, подробности же назначаются посредствомъ прозрачной бумаги.

Литографированіе плановъ дѣлается обыкновенно *переводомъ*, планъ прорисовывается посредствомъ прозрачной на обыкновенную бумагу, гдѣ его обводятъ литографическими чернилами, кладутъ листъ на камень лицомъ и смываютъ бумагу. Бумага эта при наложеніи на каменъ бываетъ сырая, оттого рисунокъ на камнѣ выходитъ крупнѣе оригинала, оттиски послѣ высушки сожмутся, но нельзя заранѣе сказать на столько ли, на сколько бумага прежде вытянулась, а потому и на каждомъ литографированомъ листѣ долженъ быть свой масштабъ: вообще литографированные чертежи меньше отличаются отъ оригиналовъ нежели гравированные.

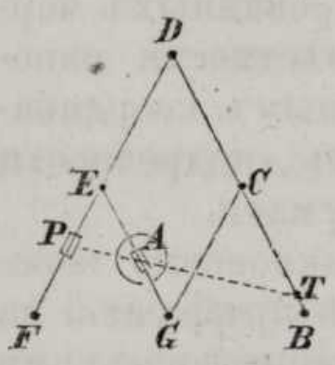
83. Уменьшеніе отъ руки производится въ случаѣ плана построеніемъ на чистомъ листѣ треугольниковъ подобныхъ тѣмъ, которыя соединяютъ главныя точки плана въ уменьшенномъ масштабѣ: для нанесенія подробностей, на чистомъ листѣ и на планѣ чертятся квадраты, которыхъ стороны находятся въ данной степени уменьшенія одни къ другаемъ; потомъ всѣ подробности, заключающіеся въ квадратахъ плана, назначаются въ соотвѣтственныхъ квадратахъ чистаго листа, уменьшенными на глазъ.

Для уменьшенія прорѣзовъ лучше чертить ихъ вновь въ маломъ масштабѣ по даннымъ журнала нивелированія и по вычисленіямъ.

84. Уменьшеніе механическое производится посредствомъ инструментовъ, называемыхъ *Пантографами* и *Эйдографами*. Въ каждомъ изъ этихъ инструментовъ есть копировка, которою водятъ по линіямъ плана; карандашъ связывается съ копировкою такъ, что находится всегда въ прямой линіи съ нимъ

и съ постоянной точкой, около которой обращается инструментъ, растоянія же отъ копировки и карандаша до этой точки находятся въ томъ отношеніи, въ какомъ должно быть сдѣлано уменьшеніе; карандашъ чертитъ на бумагѣ линіи, параллельныя линіямъ плана и находящіяся съ нимъ въ данномъ отношеніи.

Чер. 58 есть *Пантографъ* въ общихъ чертахъ. Четыре линейки *FD*, *DB*, *EG* и *GC* связаны между собою на шарнирахъ въ точкахъ *D*, *E*, *C*, *G* такъ что $DE=DC=EG=CG$ и фигура *DEGC* есть всегда ромбъ, котораго всѣ стороны между собою равны и паралельны по двѣ. Линейки эти поддержаны въ трехъ или четырехъ точкахъ ножками на рельсахъ, на которыхъ онъ двигается по бумагѣ. Копировка помѣщается въ *T*; по линейкѣ *EG* двигается муфта *A*, которая можетъ быть установлена соотвѣтственно степени уменьшенія, при ней есть трубка, которая надѣвается на стержень гири помѣщенной на столѣ; вокругъ этаго стержня вращается инструментъ при черченіи. Карандашъ помѣщается въ трубкѣ при такой же муфтѣ *P*, скользящей по линейкѣ *EF*; онъ прижимается къ бумагѣ какимъ нибудь грузомъ налагаемымъ на его верхушку; его можно отдѣлить отъ бумаги, когда нужно, или приподнять посредствомъ шнурка, который переходитъ черезъ маленькіе блоки.



Чер. 58.

Копировка, постоянная точка или центръ вращенія и карандашъ находятся на одной прямой линіи при всѣхъ положеніяхъ пантографа. Для опредѣленія точекъ *P* и *A*, гдѣ нужно поставить муфты при данной степени уменьшенія напримѣръ въ *n* разъ, составляются пропорціи

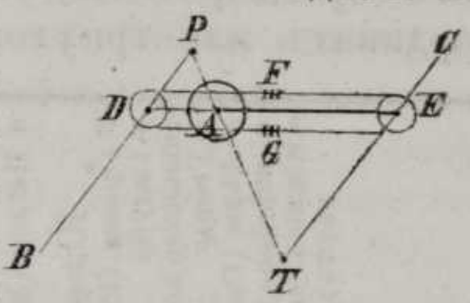
$$n : 1 = TA : AP \ldots\ldots\ldots (1.)$$

$$n : 1 = DE : EP \ldots\ldots\ldots (2.)$$

$$n+1 : 1 = DT : EA \ldots\ldots\ldots (3.)$$

На линейкахъ *EF* и *EG* есть дѣленія, или равныя между собою, и тогда муфты ставятся на дѣленіяхъ опредѣленныхъ пропорціями (2.) и (3.); или дѣленія на линейкахъ имѣютъ надписи соотвѣтственныя степени уменьшенія даваемой пантографомъ, когда муфты поставлены на этихъ дѣленіяхъ.

Эйдографъ (чер. 59) состоитъ изъ трехъ линеекъ *PB*, *DE* и *CT*, на каждой есть 200 дѣленіи, которыхъ счетъ идетъ отъ средины къ краямъ; линейка *DE* ходитъ въ муфтѣ *A* съ трубкою, надѣтою на стержень гири, это есть постоянная точка или центръ вращенія инструмента; на концахъ этой линейки есть два блока связанные стальными прутьями или шатунами, *G* и *F* винты на этихъ прутьяхъ съ гайками для уравненія ихъ въ длинѣ такъ, чтобы линейки *BP* и *CT* были всегда параллельны между собою, блоки вертятся на осяхъ въ точкахъ *D* и *E*; при нихъ есть муфты, сквозь которыя проходятъ линейки *BP* и *CT*; копировка помѣщается въ *T*, карандашъ въ *P*.



Чер. 59.

Чтобы уменьшить планъ въ *n* разъ, надобно установить линейки въ муфтахъ на дѣленіяхъ соотвѣтственно уравненіямъ

$$n : 1 = AE : AD ; ET = AE ; DP = AD; \ldots\ldots (4.)$$

т. е. точки *A*, *D* и *E* должны быть на одинакихъ номерахъ дѣленій; номеръ дѣленія дается формулою.

$$m = 100\,\frac{n-1}{n+1} \ldots\ldots (5.)$$

Лучшее средство для повѣрки пантографа или эйдиграфа состоитъ въ томъ, что проводятъ копировкой по краю линейки опредѣленной длины, линія начерченная карандашемъ должна быть прямая, параллельная линейкѣ и въ данное число разъ меньше ея длиною.

85. Увеличеніе плановъ можетъ быть производимо способомъ обратными ихъ уменьшенію; употребляя для этаго пантографъ или эйдографъ надобно помѣстить копировку на мѣсто карандаша, и карандашъ на мѣсто копировки. Но къ этому способу увеличенія плановъ надобно прибѣгать только тогда, когда нѣтъ подъ рукою журналовъ съемки, потому что погрѣшности плана при этомъ увеличиваются въ столько же разъ, въ сколько и самый планъ; надобно всегда составлятъ новый планъ въ увеличенномъ масштабѣ по данностямъ собраннымъ при съемкѣ или по надписямъ длины линій и величины угловъ на планѣ, если онѣ есть.

86. Уменьшеніе плановъ фотографическое въ четыре

и болѣе разъ вводится въ употребленіе теперь для нанесенія подробностей на гравировальныхъ доскахъ, на которыхъ предварительно назначены главныя точки помощью координатъ или триугольниковъ.

Астрономическая таблица.

Названіе неподвижныхъ звѣздъ.	Склоненіе δ	Годовое измѣненіе	Прямое восхожденіе AR	Годовое измѣненіе	Числа новаго стиля	Звѣздное время въ средній полдень.	Среднее время прохожд. пол. звѣды чр. мерид.
Сѣверныя.							
α Андромеды	28° 20′ 17″. 4	+ 18″. 5	0ч. 1′ 49″.54	+ 2″. 57	1 Января	18ч. 42′ 33″. 79	6ч. 23′ 45″ п.пн.
α Малой медвѣдицы (полярная звѣзда)	88° 35′ 10″. 8	+ 17″. 3	1ч. 9′ 20″.31	+ 26. 07	11 ,,	19ч. 21′ 59″. 37	5ч. 44′ 17″
α Овна	22° 48′ 56″. 8	+ 14. 9	1ч. 59′ 29″.08	+ 3″. 22	21 ,,	20ч. 1′ 24″. 94	5ч. 4′ 50″
α Кита	3° 33′ 2	+ 11. 4	2ч. 55′ 8″.99	+ 2″. 95	1 февр.	20ч. 44′ 47″. 05	4ч. 21′ 26″
α Персея	49° 22′ 26″. 1	+ 10. 9	3ч. 14′ 36″.36	+ 4″. 12	11 ,,	21ч. 24′ 12″. 6	3ч. 41′ 59″
α Гельца (Альдебаранъ)	16° 13′ 52″. 3	+ 4. 6	4ч. 28′ 6″.13	+ 3″. 28	21 ,,	22ч. 3′ 38″. 14	3ч. 2′ 33″
α Возничаго (Капела)	45° 51′ 18″. 9	+ 1″. 9	5ч. 6′ 37″.75	+ 4″. 25	1 Марта	22ч. 35′ 10″. 56	2ч. 31′ 2″
α Ориона (прав. плечо)	7° 22′ 37″. 8	— 2″. 2	5ч. 47′ 47″.76	+ 3″. 11	11 ,,	23ч. 14′ 36″. 09	1ч. 51′ 38″
α Близнецовъ (Кастор)	32° 10′ 58″. 4	— 9″. 6	7ч. 25′ 54″.12	+ 3″. 69	21 ,,	23ч. 54′ 1″. 62	1ч. 12′ 15″
α Малаго пса (Прокіонъ)	5° 34′ 17″. 3	— 11.7	7ч. 32′ 10″.10	+ 3″. 06	1 Апрѣл.	0ч. 37′ 23″. 70	0ч. 28′ 59″
β Близнец. (Полуксъ)	28° 21′ 4″. 5	— 10.5	7ч. 36′ 58″.44	+ 3″. 51	11 ,,	1ч. 16′ 49″. 22	11ч. 47′ 43″ п. пд.
α Льва (Регулъ)	12° 37′ 54″. 8	— 18″. 7	10ч. 1′ 6″.33	+ 3″. 15	21 ,,	1ч. 56′ 14″. 76	11ч 8′ 26″
α Большой медвѣдицы	62° 28′ 58″. 2	— 19″. 2	10ч. 55′ 17″.07	+ 3″. 50	1 Мая	2ч. 35′ 40″. 30	10ч. 29′ 11″
γ Большой медвѣдицы	49° 59′ 31″. 9	— 17″	13ч. 42′ 8″.39	+ 2″. 26	11 ,,	3ч. 15′ 5″. 85	9ч. 48 57″
✱ Бootеса (Арктуръ)	19° 53′ 37″. 5	— 17″. 7	14ч. 9′ 25″.14	+ 2″. 70	21 ,,	3ч. 54′ 30″. 41	9ч. 10′ 45″
α Змѣеносца	12° 39′ 43″. 8	— 1	17ч. 28′ 34″.12	+ 2″. 73	1 Іюня	4ч. 37′ 53″. 53	8ч. 27′ 37″
α Лиры (Вега)	38° 39′ 31″. 4	+ 4″. 3	18ч. 32′ 16″.92	+ 2″. 01	11 ,,	5ч. 17′ 19″. 10	7ч. 48′ 27″
α Орла (Алтаиръ)	8° 10′ 37″. 6	+ 10″. 6	19ч. 44′ 5″.54	+ 2″. 83	21 ,,	5ч. 56′ 44″. 68	7ч. 9′ 16″
α Пегаса (Маркабъ)	14° 28′ 18″. 4	18″. 6	22ч. 57′ 56″.72	+ 2″. 85	1 Іюля	6ч. 36′ 10″. 25	6ч. 30′ 6″
Южныя.					11 ,,	7ч. 15′ 35″. 82	5ч. 55′ 55″ п.пн.
β Ориона (Ригель)	8° 21′ 50″. 4	— 0″. 8	5ч. 7′ 59″. 5	+ 2″. 74	21 ,,	7ч. 55′ 1″. 39	5ч. 13′ 43″
α Голуби	34° 9′ 2″. 2	+ 2″	5ч. 34′ 43″.78	+ 2″. 06	1 Авгст.	8ч. 38′ 23″. 51	4ч. 30′ 38″
α большаго пса (Сиріусъ)	16° 31′ 57″. 6	+ 8″. 4	6ч. 39′ 9″.12	+ 2″. 56	11 ,,	9ч. 17′ 49″. 06	3ч. 51′ 27″
α Гидры	8° 4′ 6″. 7	+ 17″. 6	9ч. 20′ 53″.34	+ 2″. 96	21 ,,	9ч. 57′ 14″. 60	3ч. 12′ 15″
α Дѣвы (Спика)	10° 26′ 46″. 4	+ 18″. 1	13ч. 17′ 59″. 6	+ 3″. 19	1 Свят.	10ч. 40′ 36″. 68	2ч. 29′ 7″
α Скорпіона (Антаресъ)	26° 7′ 25″. 3	+ 5″. 8	16ч. 21′ 0″.75	+ 3″. 67	11 ,,	11ч. 20′ 2″. 21	1ч. 49′ 53″
α Южныя Рыбъ (Фомальгаутъ),	30° 20′ 54″. 1	— 19″	22ч. 50′ 4″.64	+ 3″ 02	21 ,,	11ч. 59′ 27″. 74	1ч. 10′ 38″
					1 Октяб.	12ч. 38′ 53″. 26	0ч. 31′ 22″
					11 ,,	13ч. 18′ 18″. 78	11ч. 50′ 6″ п. пд.
					21 ,,	13ч. 57′ 44″. 31	11ч. 10′ 47″
					1 Ноябр.	14ч. 41′ 6″. 41	10ч. 27′ 31″
					11 ,,	15ч. 20′ 31″. 96	9ч. 48′ 9″
					21 ,,	15ч. 59′ 57″. 51	9ч. 8′ 46″
					1 Декаб.	16ч. 39′ 23″. 07	8ч. 29′ 22″
					11 ,,	17ч. 18′ 48″. 65	7ч. 49′ 57″
					21 ,,	17ч. 58′ 14″. 22	7ч. 10′ 30″

ВТОРАЯ ЧАСТЬ.

Матеріалы и Строенія.

ГЛАВА I.

ЗАКОНЫ УСТОЙЧИВОСТИ И КРѢПКОСТИ.

ОТДѢЛЪ I. О СТРОЕНІЯХЪ ВООБЩЕ.

87. Всякое **строеніе** (structure) состоитъ изъ твердыхъ тѣлъ, такъ расположенныхъ, что данная ему форма постоянно сохраняется, не смотря на тѣ силы, которыя дѣйствіемъ своимъ могли бы измѣнить эту форму и расположеніе частей. Такъ какъ всѣ эти части должны быть въ относительномъ покоѣ, то силы дѣйствующія, какъ на цѣлое строеніе, такъ и на каждую отдѣльную его часть, должны быть въ *равновѣсіи*, и потому законы, на которыхъ основана не измѣняемость формы строеній, принадлежатъ по большей части къ *Статикѣ*, наукѣ о равновѣсіи силъ.

Матеріалы, изъ которыхъ возводятся строенія, бываютъ болѣе или менѣе *твердые*, какъ камень, дерево, металлы, или *рыхлые*, сыпучіе, какъ земля. Въ слѣдующихъ главахъ этой части будутъ описываться строенія, смотря по роду матеріала, изъ котораго онѣ возводятся, а въ настоящей главѣ излагаются тѣ законы механики, которые прилагаются ко всѣмъ строеніямъ.

Всякое строеніе состоитъ изъ двухъ или болѣе твердыхъ тѣлъ, называемыхъ его **частями** (pieces); онѣ касаются другъ друга нѣкоторыми своими поверхностями, назы-

ваемыми *швами* (joints) и бываютъ въ нихъ связаны. На первый взглядъ можетъ показаться, что такое опредѣленіе относится только къ строеніямъ изъ твердаго матеріала, но оно прилагается и къ строеніямъ, выведеннымъ изъ земли, которую можно разсматривать, какъ состоящую изъ множества малыхъ частицъ, касающихся другъ друга въ большомъ числѣ швовъ.

Всѣ части строенія могутъ быть между собою связаны прочно и находиться въ взаимномъ относительномъ покоѣ, все же строеніе можетъ относительно земли быть постояннымъ или подвижнымъ.

Постоянное строеніе поддерживается на землѣ массою твердаго матеріала, называемою его *основаніемъ* или фундаментомъ; *поддерживающее усиліе* (support) въ этомъ случаѣ есть сопротивленіе основанія, оно можетъ имѣть отвѣсное или наклонное направленіе.

Подвижное строеніе можетъ поддерживаться, какъ корабль, водою, или колесами, опирающимися въ землю, какъ телѣга. Когда такое строеніе двигается, то оно имѣетъ въ нѣкоторой степени свойства машины и опредѣленіе усилія, которое его поддерживаетъ, основывается не только на статическихъ, но и на динамическихъ законахъ. Но когда оно въ покоѣ, хотя имѣетъ способность двигаться, то поддерживающее усиліе опредѣляется по правиламъ статики и ясно, что оно должно быть равно и прямо противоположно вѣсу сооруженія.

88. Условія равновѣсія строенія суть слѣдующія:

I. *Всѣ силы, которыми постороннія тѣла дѣйствуютъ на строеніе должны быть въ равновѣсіи.* Къ этимъ силамъ принадлежатъ: 1) притягательная сила земли или *вѣса* строенія; 2) *внѣшняя нагрузка* (external load) или давленія, которыя производятся на строеніе посторонними ему тѣлами, не входящими въ составъ ни строенія, ни его основанія; эти двѣ силы вмѣстѣ составляютъ *общій грузъ* (total load) строенія; 3) *поддерживающее усиліе* или сопротивленіе основанія.

Всѣ эти силы въ совокупности суть *внѣшнія* силы.

II. *Силы, дѣйствующія на каждую часть сооруженія, должны быть въ равновѣсіи.* Онѣ состоятъ изъ 1) *вѣса* разсматриваемой части; 2) *внѣшняго груза* на ней лежащаго; эти двѣ силы составляютъ *общій грузъ* части строенія; 3) *сопротивленія* или поддерживающаго усилія, оно произ-

ходитъ въ швахъ, между разсматриваемою частью строенія и тѣми частями, которыя ее поддерживаютъ.

III. *Силы, дѣйствующія на частицы матеріала, изъ котораго состоятъ части строенія, должны быть въ равновѣсіи.* Вообразите, что какая нибудь поверхность отдѣляетъ одну изъ частицъ матеріала, составляющаго сооруженіе, отъ другихъ сосѣднихъ частицъ; она подвержена дѣйствію слѣдующихъ силъ: 1) собственнаго *вѣса*, 2) внѣшнихъ *грузовъ* или *усилій* къ ней приложенныхъ, если она находится у поверхности какой нибудь части строенія; 3) *напряженія* (stress) проявляющагося между частицами матеріала по воображаемой поверхности, которая отдѣляетъ разсматриваемую частицу отъ другихъ.

89. Устойчивость, крѣпкость, жесткость. Для того, чтобы строеніе могло существовать постоянно безъ измѣненія формы, нужно чтобы всѣ три условія равновѣсія выполнялись, не только при одной извѣстной величинѣ внѣшней нагрузки или одномъ какомъ нибудь ея положеніи или распредѣленіи, но и при всѣхъ измѣненіяхъ, какія могутъ случаться съ этой нагрузкой, во время существованія строенія и пользованія имъ, какъ въ величинѣ, такъ и въ расположеніи ея.

Устойчивость (stability) дается строенію выполненіемъ въ немъ первыхъ двухъ условій равновѣсія силъ, при всѣхъ и змѣненіяхъ нагрузки въ данныхъ предѣлахъ.

Неустойчивое сооруженіе разрушается тѣмъ, что части его перемѣняютъ свое относительное положеніе. Если все строеніе или какая нибудь его часть *гибка* т. е. можетъ двигаться, какъ, напримѣръ, цѣпь висячаго моста, то устойчивость его составляетъ стремленіе принять прежнія форму и положеніе, послѣ того какъ они были измѣнены.

Крѣпкость (strength) строенія составляетъ выполненіе въ немъ третьяго условія равновѣсія для грузовъ, не превосходящихъ даннаго предѣла: наибольшее напряженіе, произведенное въ частицахъ матеріала, изъ котораго состоитъ строеніе, наибольшей нагрузкой, которой оно можетъ подвергнуться, не должно доходить не только до разрушенія внезапнаго, но даже и до такого измѣненія въ составѣ матеріала, отъ котораго можетъ въ послѣдствіи произойти его разрушеніе.

Каждая часть строенія можетъ сдѣлаться негодною раньше ея разрушенія тѣмъ, что она будетъ сжата, растя-

нута, согнута, скручена или какъ нибудь иначе изкажена въ своей формѣ. Размѣры ея должны быть таковы, чтобы изкаженіе формы ея при наибольшей изгрузкѣ не выходило изъ нѣкоторыхъ предѣловъ: свойство это можно назвать *жесткостью* (stiffness); оно такъ тѣсно связано съ крѣпкостью, что они всегда вмѣстѣ разсматриваются.

ОТДѢЛЪ II. ЗАКОНЫ РАВНОВѢСІЯ СИЛЪ.

90. Силою называется такое дѣйствіе одного тѣла на другое, отъ котораго можетъ измѣниться или измѣняется ихъ относительное взаимное положеніе т. е. движеніе или покой; **равновѣсіемъ** двухъ или нѣсколькихъ силъ называется такое ихъ отношеніе въ величинѣ и направленіи, что онѣ не измѣняютъ состоянія тѣла, на которое дѣйствуютъ, а только стремятся его измѣнить.

Въ Статикѣ, подъ словомъ *давленіе* (pressure) разумѣется иногда сила, которая уравновѣшена; но чаще слово давленіе означаетъ силу, въ родѣ удара или толчка, распредѣленную на нѣкоторой поверхности.

Отношеніе силы къ одному изъ тѣлъ, дѣйствующихъ одно на другое, опредѣлено или извѣстно, когда извѣстны слѣдующіе три, до нее касающіяся обстоятельства: во первыхъ *мѣсто приложенія* или то мѣсто, та часть тѣла, гдѣ сила дѣйствуетъ, въ вторыхъ *направленіе* ея дѣйствія и въ третьихъ ея *величина*.

I. *Мѣстомъ приложенія* силы можетъ быть вся внутренняя масса тѣла или часть ея; въ этомъ случаѣ сила называется *притяженіемъ* или *отталкиваніемъ*, смотря по тому, стремяться ли тѣла, взаимно дѣйствующія, приблизиться другъ къ другу или отдалиться. Мѣстомъ приложенія силы можетъ быть поверхность прикосновенія двухъ тѣлъ или та поверхность, въ которой двѣ части одного тѣла связаны между собою, тогда сила принимаетъ названіе *вытягиванія, давленія или сжиманія* и т. д.

Дѣйствіе всякой силы происходитъ всегда на нѣкоторомъ пространствѣ, на какой нибудь части объема или поверхности тѣла, никогда не сосредоточиваясь въ одной точкѣ: но для вывода и объясненія законовъ статики необходимо начать съ разсматриванія воображаемыхъ одиночныхъ силъ, дѣйствующихъ въ одной точкѣ; полученные этимъ путемъ выводы относительно одиночныхъ силъ при-

мѣняются къ тѣмъ силахъ, которыя въ самомъ дѣлѣ дѣйствуютъ на опредѣленныхъ пространствахъ.

При разсматриваніи дѣйствія силы, сосредоточенной въ одной точкѣ предполагается, что тѣло, на которое она дѣйствуетъ, совершенно твердо т. е. неизмѣняется въ формѣ отъ дѣйствія какихъ бы то ни было силъ: это предположеніе тоже не вѣрно, но сдѣланные на основаніи его выводы прилагаются къ тѣламъ, въ которыхъ измѣненіе формы не чувствительно, что̀ зависитъ отъ величины силы.

II. *Направленіемъ* силы называется направленіе, въ которомъ сила стремится двинуть тѣло: прямая проведенная черезъ точку приложенія силы параллелно тому направленію, въ которомъ она стремится двинутъ тѣло, можетъ быть названа *линіею дѣйствія* (line of action) силы.

III. *Величины* двухъ силъ равны, если, будучи приложены къ тѣлу по одной и тойже линіи дѣйствія, но въ противоположныхъ направленіяхъ, онѣ взаимно уравновѣшиваются.

Одиночная сила можетъ быть представлена, на бумагѣ, прямою линіею съ стрѣлчатымъ концомъ: начало линіи есть точка приложенія силы, направленіе линіи есть направленіе силы, а величина силы можетъ быть обозначена длиною линіи по произвольно избранному масштабу.

91. Единицы вѣса. Величина силы выражается числомъ или отношеніемъ ея къ какой нибудь единицѣ силъ: обыкновенно принимаютъ за единицу для измѣренія силъ *вѣсъ* опредѣленнаго количества какого нибудь вещества или притяженіе его къ землѣ подъ извѣстнымъ градусомъ широты и на извѣстной высотѣ.

Въ Англіи за единицу для измѣренія силъ принимаютъ одинъ *фунтъ* avoir du poids: это вѣсъ, подъ широтою Лондона и у горизонта океана, куска платины хранимаго въ Палатѣ Общинъ въ Уестминстерѣ. Онъ равенъ 1.10763 русскаго фунта; *центнеръ* (cwt) содержитъ 112 фунтовъ, *тонна* 20 центнеровъ или 62.0275 русскаго пуда.

Основная единица вѣса во Франціи есть *граммъ*, вѣсъ въ Парижѣ кубическаго сантиметра воды при $3^0,15$ Р.; употребителенъ *килограммъ* или 1000 граммовъ равный 2.44190 русскаго фунта, и *тонъ* въ 1000 киллограммовъ или 61.0475 русскаго пуда.

Въ Пруссіи и Германскомъ таможенномъ союзѣ за единицу вѣса принятъ теперь *фунтъ* (Zollpfund), равный по-

ловинѣ французскаго килограмма; *центнеръ* или 100 фунтовъ равенъ 3.052 пуда.

Въ Австріи *фунтъ* равенъ 1.36749 русскаго фунта, а *центнеръ* или 100 фунтовъ 3.4187 пуда.

Въ Россіи основная единица вѣса есть *фунтъ*, равный вѣсу 25.0189 кубическихъ дюймовъ перегнанной воды при $13^1/_3{}^0$ Р.; 40 фунтовъ составляютъ *пудъ* равный 0.32244 англійскаго центнера, 16.381 французскаго килограмма 0.3276 прусскаго и 0.2925 австрійскаго центнера. Русскій фунтъ дѣлится на 96 *золотниковъ*, золотникъ на 96 *долей*.*)

92. Равнодѣйствующая нѣсколькихъ силъ направленныхъ по одной линіи. *Равнодѣйствующею* нѣсколькихъ силъ приложенныхъ къ одному тѣлу называется такая одиночная сила, которая можетъ уравновѣсить силу, уравновѣшивающую всѣ приложенныя къ тѣлу силы, или, иначе, равнодѣйствующая нѣсколькихъ силъ есть та одиночная сила, которая производитъ на тѣло тоже самое дѣйствіе, какое всѣ силы вмѣстѣ взятыя. Изъ этаго слѣдуетъ, что равнодѣйствующая сила равна по величинѣ и противоположна по направленію той силѣ, которая уравновѣшиваетъ данныя силы; эти силы называютъя *составляющими*.

Когда нѣсколько силъ находится въ равновѣсіи, то равнодѣйствующей не существуетъ. Равнодѣйствующая нѣсколькихъ силъ, направленныхъ по одной линіи, имѣетъ одно съ ними направленіе и по величинѣ равна суммѣ составляющихъ: тутъ разумѣется алгебрическая сумма, т. е. силы, дѣйствующія въ одну сторону, складываются а въ разныя вычитаются. Иначе говоря, изъ суммы силъ, направленныхъ въ одну сторону, вычитается сумма силъ направленныхъ въ другую сторону по той же линіи, остатокъ будетъ величина равнодѣйствующей, а направленіе будетъ одинакое съ тѣми силами, которыхъ сумма больше.

Когда нѣсколько силъ, дѣйствующихъ по одной линіи, находится въ равновѣсіи, тогда сумма силъ направленныхъ въ одну сторону равна суммѣ силъ, направленныхъ въ другую сторону.

93. Равнодѣйствующая наклонныхъ силъ и ихъ равновѣсіе. Наименьшее число наклонныхъ силъ, которыя могутъ быть въ равновѣсіи есть три: эти три силы должны быть

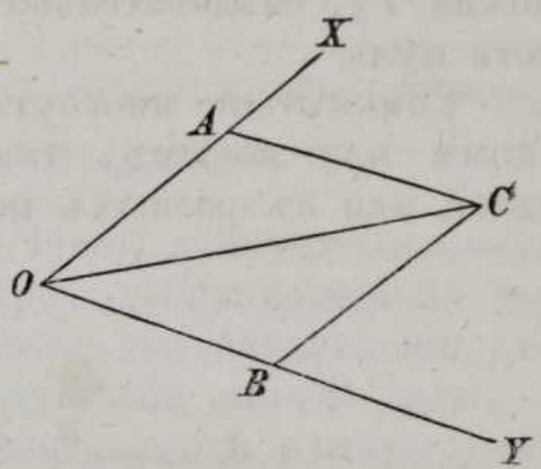
---

*) Для сравненія русскаго вѣса въ иностранными См. памятную книжну стр. 363.

въ одной плоскости и приложны къ одной точкѣ. Взаимное ихъ отношеніе опредѣляется закономъ, извѣстнымъ подъ названіемъ *Параллелограмма силъ*; это основный законъ Статики, изъ котораго выводятся всѣ другіе.

I. *Если двѣ стороны параллелограмма представляютъ своею длиною величины двухъ силъ, приложенныхъ къ одной точкѣ, а уголъ, который онѣ между собою составляютъ, равенъ углу между направленіями силъ, то діагональ параллелограмма представляетъ равнодѣйствующую этихъ двухъ силъ по величинѣ и по направленію.*

Въ точкѣ O (чер. 66.) дѣйствуютъ двѣ силы, которыхъ величина и направленіе представляются линіями OA и OB: равнодѣйствующая ихъ, или та одиночная сила, которая можетъ ихъ замѣнить, представляется въ величинѣ и направленіи діагональю OC параллелограмма $OACB$. Алгебрическое выраженіе величины этой равнодѣйствующей есть



Чер. 60.

$$OC = \sqrt{OA^2 + OB^2 + 2OA \times OB \times \cos AOB} \quad \ldots\ldots (1.)$$

Для того, чтобы уравновѣсить силы OA и OB надобно приложить къ точкѣ O силу равную и противоположную ихъ равнодѣйствующей OC: это значитъ что если три силы, дѣйствующія въ одной точкѣ, могутъ быть представлены по величинѣ и направленію тремя сторонами треугольника (считая всѣ направленія въ одну сторону, какъ OA, AC, CO) то онѣ находятся въ равновѣсіи, или, иначе, три силы дѣйствующія въ одной плоскости и на одну точку, находятся въ равновѣсіи, если величина каждой изъ нихъ пропорціональна синусу угла составляемаго двумя другими силами.

Изъ этаго закона выводится другой законъ: *многоугольника силъ.*

II. *Если нѣсколько силъ, приложенныхъ въ одной точкѣ, представляются по величинѣ и направленію сторонами сомкнутаго многоугольника, то онѣ находятся въ равновѣсіи.*

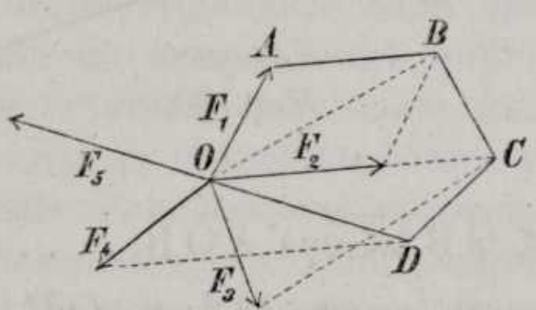
Пять силъ, представляемыхъ по величинѣ и направле-

нію прямыми линіями F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 (чер. 61), приложены къ точкѣ O, онѣ равны и параллельны сторонамъ многоугольника $OABCDO$ а именно

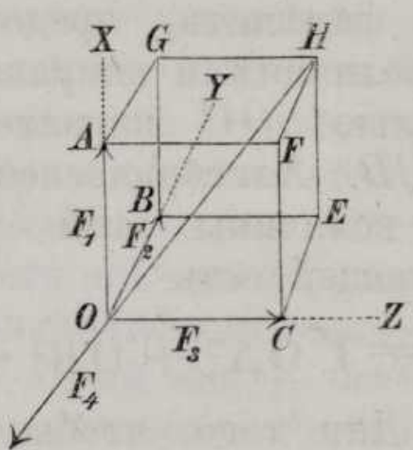
$$F_1 = \| OA; F_2 = \| AB; F_3 = \| BC; F_4 = \| CD; F_5 = \| DO.$$

и потому находятся въ равновѣсіи. По закону параллелограмма силъ равнодѣйствующая F_1 и F_2 есть OB; равнодѣйствующая OB и F_3 или трехъ силъ F_1, F_2, F_3 есть OC; равнодѣйствующая OC и F_4 или четырехъ силъ есть OD, которая равна по величинѣ и прямо противоположна F_5, слѣдовательно окончательная равнодѣйствующая есть нуль.

Сомкнутый многоугольникъ силъ можетъ быть плоскимъ или косымъ, т. е. стороны его могутъ быть въ одной или въ разныхъ полскостяхъ.



Чер. 61.



Чер. 62

III. *Законъ параллелепипеда силъ.* Самый простой косой многоугольникъ имѣетъ четыре стороны. На чер. 62 представленъ параллелепипедъ $OABCEFGH$, котораго діагональ есть OH; три его ребра, составляющія ломанную линію, которая начинается у O и кончается у H, образуютъ вмѣстѣ съ діагональю HO, косой сомкнутый многоугольникъ: слѣдовательно когда три силы F_1, F_2, F_3, дѣйствующія въ точкѣ O могутъ быть представлены по величинѣ и направленію тремя ребрами OA, OB и OC параллелепипеда, тогда OH представляетъ ихъ равнодѣйствующую, а сила F_4 равная и противоположная OH находится въ равновѣсіи съ прежними тремя.

94. Разложеніе силъ. I. *На двѣ составляющія.* Для того, чтобы одиночная сила могла быть разложена на двѣ другія, дѣйствующія по направленію двухъ данныхъ пря-

мыхъ, необходимо: во первыхъ, чтобы обѣ эти прямыя пересѣкали линію дѣйствія данной силы въ одной точкѣ, во вторыхъ, чтобы всѣ три линіи были въ одной плоскости.

Пусть OC (чер. 60) представляетъ данную силу, которую надобно разложить на двѣ составляющія по направленіямъ OX и OY, находящимся въ одной плоскости съ OC и пересѣкающимъ ее въ точкѣ O. Черезъ точку C надобно провесть прямыя CA и CB, параллельныя OY и OX и пересѣкающія ихъ въ точкахъ A и B; линіи OA и OB будутъ представлять величины составляющихъ.

Двѣ силы равныя и противоположныя OA и OB будутъ уравновѣшивать силу OC.

Величины силъ находятся въ слѣдующемъ отношеніи

$$OC : OA : OB = \sin AOB : \sin BOC : \sin AOC \ldots, \ldots (1.)$$

II. *На три составляющія.* Чтобы данную одиночную силу можно было разложить на три, дѣйствующія по даннымъ направленіямъ, надобно чтобы эти направленія сходились въ одной точкѣ на линіи дѣйствія данной силы.

Пусть OH (въ чер. 62) представляетъ данную силу, которую нужно разложить по тремъ направленіямъ OX, OY и OZ пресѣкающимъ линію дѣйствія силы OH въ точкѣ O. Чрезъ точку H проводятся три плоскости, параллельныя плоскостямъ YOZ, ZOX, XOY и пересѣкающія прямую OX въ A, OY въ B и OZ въ C; OA, OB и OC представляютъ величины составляющихъ.

Три силы равныя по величинѣ и противоположныя по направленію силамъ OA, OB и OC будутъ уравновѣшивать силу OH.

III. *Прямоугольныя составляющія.* Прямоугольными составляющими данной силы, называются такія, которыхъ линіи дѣйствія составляютъ между собою прямые углы.

Если OX, OY OZ въ чер. 62 предствляютъ три прямоугольныя оси координатъ, то OH разлагается на три прямоугольныя составляющія простымъ опусканіемъ перпендикуляровъ изъ точки H на эти оси, которыя пересѣкутся перпендикулярами въ точкахъ A, B и C.

Пусть величины составляющихъ означены будутъ буквами X, Y, Z, величина равнодѣйствующей буквою R, а углы, которые она составляетъ съ направленіями осей, буквами α, β, γ; тогда отношеніе между составляющими и равнодѣйствующею выражается уравненіями.

$$X = R\cos\alpha,\ Y = R\cos\beta,\ Z = R\cos\gamma \ldots\ldots (2.)$$
$$R^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \ldots\ldots (3)$$

Когда двѣ составляющія находятся въ одной плоскости съ равнодѣйствующею, то третья составляющая не существуетъ или равна нулю и уравненія (2) и (3) принимаютъ видъ.

$$X = R\cos\alpha = R\sin\beta;\ Y = R\cos\beta = R\sin\alpha;\ Z = 0 \ldots (4.)$$
$$R^2 = X^2 + Y^2 \ldots\ldots (5.)$$

При употребленіи формулъ (2, 3, 4 и 5) надобно помнить, что косинусы тупыхъ угловъ суть величины отрицательныя.

95. Равнодѣйствующая и равновѣсіе нѣсколькихъ силъ, приложенныхъ въ одной точкѣ. Чтобы найти равнодѣйствующую посредствомъ вычисленій, надобно представить себѣ, что чрезъ точку приложенія проведены три прямоугольныя оси координатъ; разложить каждую данную силу на три составляющія (X, Y, Z) направленныя по этимъ осямъ; взять алгебрическую сумму всѣхъ составляющихъ направленныхъ по одной оси, принимая тѣ, которыя дѣйствуютъ въ одну сторону за положительныя, а дѣйствующія въ противоположную сторону за отрицательныя; такъ получатся три суммы (ΣX, ΣY, ΣZ), которыя будутъ тремя прямоугольными составляющими общей равнодѣйствующей: величина и направленіе этой равнодѣйствующей опредѣляется изъ уравненій.

$$R^2 = (\Sigma X)^2 + (\Sigma Y)^2 + (\Sigma Z)^2 \ldots\ldots (1.)$$
$$\cos\alpha = \frac{\Sigma X}{R};\ \cos\beta = \frac{\Sigma Y}{R};\ \cos\gamma = \frac{\Sigma Z}{R} \ldots\ldots (2.)$$

Когда всѣ данныя силы находятся въ одной плоскости, то достаточно двухъ осей координатъ, и члены содержащіе Z не входятъ въ уравненія.

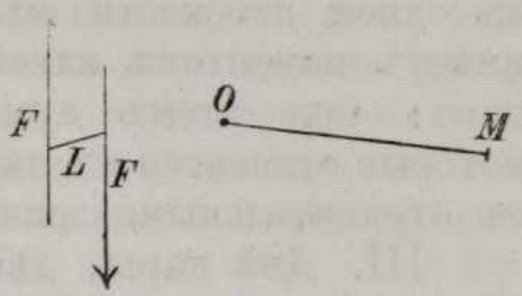
Если данныя силы находятся въ равновѣсіи, то всѣ составляющія направленныя по каждой оси взаимно уравновѣшиваются; алгебрически это условіе выражается уравненіями

$$\Sigma X = 0;\ \Sigma Y = 0;\ \Sigma Z = 0 \ldots\ldots (3.)$$

Когда силы находятся въ одной плоскости, то условіе равновѣсія представляется двумя уравненіями.

96. Пары силъ, ихъ равнодѣйстующія. Двѣ силы равной величины, дѣйствующія на тѣло по направленіямъ параллельнымъ и противоположнымъ, но не въ одной точкѣ, составляютъ *пару силъ* или просто *пару:* таковы силы F, F въ чер. 63.

Плечомъ или рычагомъ пары называется разстояніе между силами, измѣряемое по направленію, къ нимъ перпендикулярному.



Чер. 63.

Пара стремится вращать тѣло, на которое она дѣйствуетъ, въ своей плоскости, то есть въ той плоскости, въ которой находятся линіи дѣйствія обѣихъ силъ. Плоскостью вращенія тѣла называется такая, которая параллельна плоскостямъ тѣла, неизмѣняющимъ своего положенія при его вращеніи; въ начертательной геометріи эти плоскости называются параллелями поверхностей вращенія. Объ вращеніи тѣла говорится, что оно происходитъ *вправо*, если наблюдателю кажется, что оно согласно съ движеніемъ солнца или часовой стрѣлки, противоположное вращеніе есть вращеніе *влѣво;* пары называются дѣйствующими вправо или влѣво смотря по вращенію, которое онѣ стремятся произвесть въ тѣлѣ; пара на чер. 63 кажется дѣйствующею въ право.

Моментомъ пары называется произведеніе величины силы на длину плеча FL; оно можетъ быть представлено площадью прямоугольника, котораго стороны равны F и L. Если сила выражена въ пудахъ, а длина плеча въ футахъ, то произведеніе ихъ будетъ въ *пудофутахъ*, произведеніе килограммовъ на метры бываетъ въ *килограммметрахъ*. Моментъ пары можетъ быть представленъ на бумагѣ одною линіею, если отложить по *оси* пары т. е. по прямой, пендикулярной къ плоскости пары, столько единицъ длины, сколько пудофутовъ въ моментѣ пары, какъ напримѣръ линія OM на чер. 63; откладываніе должно быть сдѣлано въ такомъ направленіи, чтобы, если смотрѣть изъ M, то пара казалась вращающею тѣло на право.

Законъ, который будетъ теперь изложенъ, есть основный законъ теоріи паръ, его можно бы считать основнымъ закономъ всей статики, вмѣсто параллелограма силъ, потому что каждый изъ нихъ есть слѣдствіе другаго.

I. *Когда моменты двухъ паръ, дѣйствующихъ въ одной*

плоскости или въ параллельныхъ плоскостяхъ и въ одну сторону, равны между собою, то и самыя пары равны, или одна изъ нихъ можетъ быть замѣнена другою. Изъ этаго закона выводятся слѣдующія заключенія.

II. Равнодѣйствующая нѣсколькихъ паръ, находящихся въ одной плоскости или въ параллельныхъ плоскостяхъ, имѣетъ моментомъ алгебрическую сумму моментовъ всѣхъ паръ: при этомъ суммованіи моментовъ тѣ изъ нихъ, которые относятся къ парамъ дѣйствующимъ влѣво, берутся съ отрицательными знаками.

III. Двѣ пары, дѣйствующія въ одной плоскости или въ параллельныхъ плоскостяхъ, но въ противныя стороны, находятся въ равновѣсіи, если ихъ моменты равны. Нѣсколько паръ дѣйствующихъ въ параллельныхъ плоскостяхъ но въ разныя стороны, взаимно уравновѣшиваются, если сумма моментовъ паръ вращающихъ въ одну сторону равна суммѣ моментовъ паръ, вращающихъ въ другую сторону, иначе говоря, когда ихъ равнодѣйствующая есть нуль, что выражается уравненіемъ $\Sigma \cdot FL = 0 \ldots\ldots (1.)$

IV. Если двѣ стороны параллелограмма представляютъ оси и моменты двухъ паръ, дѣйствующихъ на тѣло въ наклонныхъ другъ къ другу плоскостяхъ, то діагональ этаго параллелограмма есть ось, а длина ея представляетъ моментъ раснодѣйствующей пары. Или иначе, три пары, которыя могутъ быть представлены тремя сторонами треугольника, находятся въ равновѣсіи.

V. Если нѣсколько паръ можно представить линіями, которыя образуютъ сомкнутый многоугольникъ, то эти пары находятся въ равновѣсіи.

Эти предложенія подобны тѣмъ, которыя относятся къ одиночнымъ силамъ; пары, также какъ и силы, могутъ быть разлагаемы на составляющія по двумъ или тремъ осямъ.

97. Равнодѣйствующія и равновѣсіе параллельныхъ силъ. Система параллельныхъ силъ, находящихся въ равновѣсіи, состоитъ или изъ силъ равныхъ и прямо противоположныхъ или изъ паръ одинаковаго момента, или изъ силъ и паръ, находящихся каждыя отдѣльно, въ равновѣсіи.

Отношенія между *величинами* параллельныхъ силъ выводятся изъ слѣдующихъ началъ.

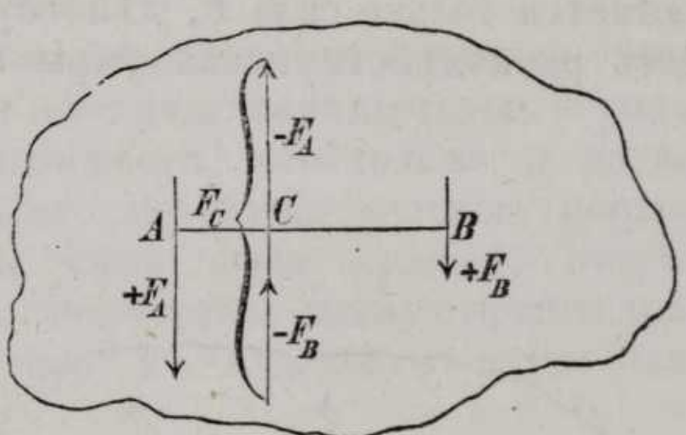
I. Въ уравновѣшенной системѣ параллельныхъ силъ сумма силъ, дѣйствующихъ въ одну сторону равна суммѣ

силъ, дѣйствующихъ въ другую, или общая алгебрическая сумма силъ равна нулю.

II. Величина равнодѣйствующей параллельныхъ силъ равна алгебрической суммѣ силъ.

Теперь нужно изложить начала, на которыхъ основано опредѣленіе *точекъ приложенія* параллельныхъ силъ; при этомъ устраняется разсматриваніе силъ равныхъ по двѣ и прямо противоположныхъ, потому что онѣ всегда въ равновѣсіи, гдѣ бы ни находились; слѣдовательно вопросъ объ опредѣленіи точекъ приложенія всегда разрѣшается на основаніи теоріи паръ.

III. *Законъ рычага.* Если три силы дѣйствуютъ на одно тѣло и находятся въ равновѣсіи, то онѣ должны быть въ одной плоскости; двѣ крайнія силы дѣйствуютъ въ одну сторону, а средняя сила въ противную; величина каждой силы пропорціональна разстоянію между линіями дѣйствія двухъ другихъ силъ. Чер. 64 представляетъ тѣло, подверженное дѣйствію двухъ уравновѣшивающихъ другъ друга паръ, слѣдовательно онѣ находятся въ одной плоскости, ихъ моменты равны



Чер. 64.

$$F_A L_A = F_B L_B,$$

и направленія двухъ силъ — F_A и — F_B, дѣйствующихъ въ одну сторону, совпадаютъ такъ, что эти двѣ силы могутъ быть замѣнены одною F_C, равною ихъ суммѣ и направленною въ сторону противную силамъ F_A и F_B, въ одной съ ними плоскости; если прямая AB перпендикулярна къ направленію силъ то

$$AC = L_A;\ CB = L_B;\ AB = L_A + L_B;$$

и слѣдовательно

$$F_A : F_B : F_C = AC : CB : AB \ldots\ldots (1.)$$

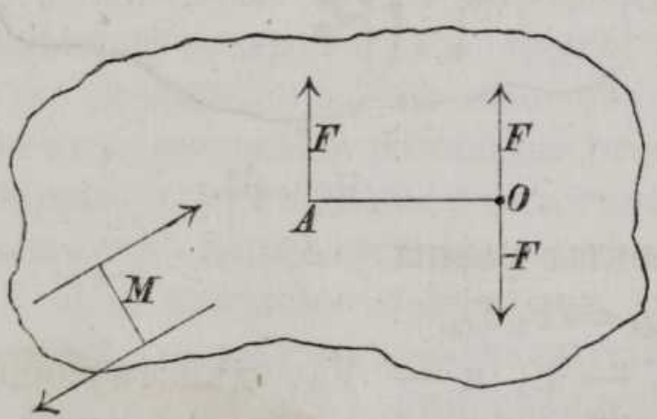
Это отношеніе имѣетъ мѣсто и тогда, когда линія AB наклонна къ направленію силъ.

IV. Равнодѣйствующая двухъ изъ трехъ силъ F_A, F_B и F_C, равна и прямо противоположна третьей. Для того,

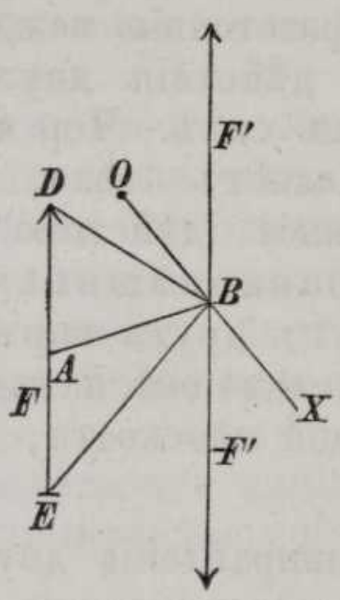
чтобы двѣ силы, направленныя въ противныя стороны, могли быть замѣнены одною равнодѣйствующею, онѣ должны быть неравны между собою, и тогда равнодѣйствующая равна ихъ разности; если же онѣ равны, то ихъ равнодѣйствующая есть нуль и онѣ составляютъ пару.

V. *Равнодѣйствующая пары и одиночной силы, находящихся съ плоскостяхъ параллельныхъ.*

Пусть M есть моментъ пары, дѣйствующей на тѣло, а F сила приложенная въ точкѣ O (чер. 65) того же тѣла и въ плоскости параллельной съ парою. Пару M можно замѣнить другою, у которой сила есть F, а плечо линія AO, которая перпендикулярна къ направленію силы F и которой длина равна частному числу отъ раздѣленія M на F. Обѣ силы, приложенныя въ точкѣ O уравновѣшиваются и остается только сила F, дѣйствующая въ точкѣ A, она то и есть равнодѣйствующая пары и силы. Итакъ если кромѣ



Чер. 65.



Чер. 66.

силы F въ тѣлѣ дѣйствуетъ пара M въ плоскости параллельной линіи дѣйствія силы, то общее ихъ дѣйствіе состоитъ въ перенесеніи точки приложенія силы на разстояніе равное отношенію M къ F влѣво при парѣ вращающей на право, и вправо при парѣ вращающей на лѣво.

VI. *Моментъ силы относительно оси.* На чер. 66 прямая F представляетъ силу; OX линію перпендикулярную къ направленію силы, но не пересѣкающую ее, AB линію перпендикулярную къ F и OX.

Въ B можно приложить двѣ силы F_1 и $-F_1$ прямо противоположныя другъ другу, параллельныя и равныя

силѣ F; отъ этаго статическое положеніе тѣла не измѣнится. И такъ данная сила F приложенная по направленію линіи, проходящей чрезъ точку A, можетъ быть замѣнена силою ей равною и приложенною въ какой нибудь точкѣ прямой, проходящей чрезъ точку B, которая къ A ближе всѣхъ другихъ точекъ линіи OX и парою, которой моментъ есть произведеніе силы F на разстояніе AB. Это произведеніе называется моментомъ силы F относительно OX, иногда же называютъ это моментомъ силы F относительно плоскости, которая параллельна линіи дѣйствія силы.

Когда проведены будутъ отъ точки B прямыя BD и BE къ концамъ линіи, представляющей величину силы F, то площадь триугольника BDE, равная произведенію F на половину AB, будетъ представлять половину момента силы относительно оси OX.

VII. *Равновѣсіе системы параллельныхъ силъ въ одной плоскости.* Для равновѣсія системы параллельныхъ силъ, дѣйствующихъ въ одной плоскости, необходимо и достаточно, чтобы выполнены были слѣдующія условія: первое, чтобы алгебрическая сумма силъ была нулемъ; второе, чтобы алгебрическая сумма моментовъ силъ относительно какого нибудь перпендикуляра къ плоскости силъ была тоже нулемъ.

Для выраженія этихъ условій математическими знаками, назовемъ F величину одной изъ силъ, взятой съ знакомъ, который соотвѣтствуетъ ея направленію, y разстояніе, считаемое по перпендикуляру къ силѣ, отъ этой силы до произвольной оси OX, оно берется тоже съ соотвѣтственнымъ знакомъ; тогда

$$\Sigma F = 0;\ \Sigma y F = 0. \ldots\ldots\ldots (2.)$$

При суммованіи моментовъ пары дѣйствующія на право, считаются положительными, а на лѣво отрицательными.

VIII. Если R есть равнодѣйствующая нѣсколькихъ параллельныхъ силъ въ одной плоскости, а y_r разстояніе отъ нее до оси моментовъ, то

$$R = \Sigma F;$$
$$y_r = \frac{\Sigma y F}{\Sigma F}.$$

Случается что силы не имѣютъ равнодѣйствующей силы или $\Sigma F = O$, а равнодѣйствующую пару, которой моментъ есть ΣyF.

IX. *Равновѣсіе всякой системы параллельныхъ силъ.* Чтобы параллельныя силы, дѣйствующія въ разныхъ плоскостяхъ, могли быть въ равновѣсіи необходимо и достаточно выполненія слѣдующихъ трехъ условій: первое, чтобъ ихъ алгебрическая сумма была нулемъ, второе и третье, чтобы алгебрическія суммы моментовъ силъ относительно двухъ взаимно перпендикулярныхъ осей были нулями.

Для алгебрическаго выраженія этихъ условій назовемъ F величину одной силы, x разстояніе ея до одной изъ осей, y до другой, тогда условія равновѣсія выразятся уравненіями

$$\Sigma F = 0;\ \Sigma x F = 0;\ \Sigma y F = 0 \ldots\ldots (3.)$$

X. Если R есть равнодѣиствующая какой нибудь системы параллельныхъ силъ, x_r и y_r разстоянія ея до осей моментовъ, то

$$R = \Sigma F;\ x_r = \frac{\Sigma x F}{\Sigma F};\ y_r = \frac{\Sigma y F}{\Sigma F} \ldots (4.)$$

Иногда силы могутъ не имѣть равнодѣйствующей, и $\Sigma F = O$: но не смотря на то, что силы взаимно уравновѣшиваются, остается пара, которой ось, направленіе и моментъ опредѣляются слѣдующимъ образомъ.

$$M_x = \Sigma y F;\ M_y = -\Sigma x F$$

моменты двухъ частныхъ паръ относительно каждой оси. Въ точкѣ пересѣченія осей надобно провести двѣ линіи, представляющія M_x и M_y въ такомъ направленіи, чтобы обѣ пары казались вращающими тѣло въ право; онѣ между собою перпендикулярны и на нихъ можно построить прямоугольникъ; діагональ его представитъ ось, направленіе и величину момента равнодѣйствующей пары

$$M_r = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \ldots\ldots (5.)$$

$$\operatorname{Cos} \theta = \frac{M_x}{M_r}$$

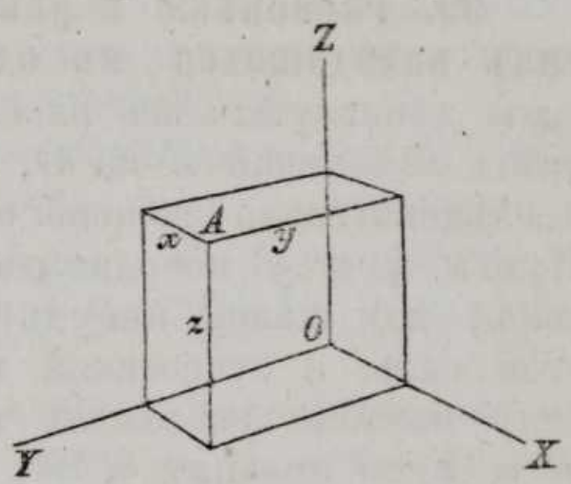
θ есть уголъ, который составляетъ ось пары съ тою осью, до которой разстояніе было y.

98. Центръ параллельныхъ силъ. Параллельныя силы дѣйствующія на тѣла бываютъ или вѣсъ, сила тяжести, или давленіе, и тогда точка приложенія принимаетъ названіа *центра тяжести* или *центра давленія.*

Если дана система точекъ и дано отношеніе между величинами параллельныхъ между собою силъ, приложенныхъ въ этихъ точкахъ, и если эти силы сводятся на одну равнодѣйствующую, то существуетъ одна только точка, черезъ которую проходитъ эта равнодѣйствующая, какова бы ни была абсолютная величина силъ и ихъ направленіе, только нужно, чтобы ихъ отношеніе было одно и тоже и чтобъ онѣ были между собою параллельны.

Положеніе этой точки опредѣляется слѣдующимъ образомъ:

Пусть O (чер. 67) какая нибудь точка, принятая за начало координатъ; OX, OY, OZ три взаимно перпендикулярныя оси; A какая нибудь точка, къ которой приложена одна изъ параллельныхъ силъ, напримѣръ F; буква эта означаетъ величину силы, или какую нибудь пропорціональную ей длину. Назовемъ x, y, z длину линій, проведеныхъ чрезъ точку A параллельно осямъ или перпердикулярно къ плоскостямъ координатъ: это координаты точки A, которыя должны быть извѣстны также точно, какъ и величина силы F.



Чер. 67.

Если бы всѣ силы дѣйствовали по прямымъ параллельнымъ плоскости YZ, то центръ ихъ или разстояніе равнодѣйствующей до этой плоскости было бы

$$x_r = \frac{\Sigma x \mathrm{F}}{\Sigma \mathrm{F}} \quad \ldots\ldots (1.)$$

Если бы всѣ силы дѣйствовали по прямымъ параллельнымъ плоскости XZ, то центръ ихъ или разстояніе равнодѣйствующей до этой плоскости было бы

$$y_r = \frac{\Sigma y \mathrm{F}}{\Sigma \mathrm{F}} \quad \ldots\ldots (2.)$$

Если бы всѣ силы дѣйствовали по прямымъ параллельнымъ плоскости XY, то центръ ихъ былъ бы отъ этой плоскости на разстояніи

$$z_r = \frac{\Sigma z F}{\Sigma F} \ldots\ldots (3.)$$

Координатами центра силъ суть величины x_r, y_r и z_r получаемыя изъ этихъ уравненій.

Когда силы не сводятся на одну равнодѣйствующую, т. е. когда $\Sigma F = O$, тогда нѣтъ и центра ихъ: это можетъ случиться при давленіи, но не при вѣсѣ.

Если всѣ силы, приложенныя къ системѣ точекъ равны между собою и направлены въ одну сторону, то разстояніе ихъ центра отъ какой нибудь плоскости равно среднему разстоянію данныхъ точекъ отъ этой плоскости.

99. Равновѣсіе и равнодѣйствующая всякой системы силъ находящихся въ одной плоскости. Положимъ что силы дѣйствуютъ въ плоскости XY чер. 67; что если смотрѣть изъ точки Z на O, то Y находится вправо отъ X и слѣдовательно вращеніе отъ X къ Y есть вращеніе вправо. Пусть x и y координаты точки приложенія одной изъ силъ, или какой нибудь точки, взятой на линіи дѣйствія этой силы и отнесенной къ осямъ OX и OY. Каждую силу надобно разложить на прямоугольныя составляющія X и Y по правилу §. 94; составляющія равнодѣйствующей будутъ ΣX и ΣY; ея величина опредѣляется уравненіемъ

$$R^2 = (\Sigma X)^2 + (\Sigma Y)^2 \ldots\ldots (1.)$$

а уголъ α_r, который она составляетъ съ OX, опредѣляется изъ уравненій

$$\cos \alpha_r = \frac{\Sigma X}{R}; \quad \sin \alpha_r = \frac{\Sigma Y}{R} \ldots\ldots (2.)$$

Уголъ этотъ есть острый или тупой, смотря по знаку суммы ΣX; а лежитъ ли онъ вправо или влѣво отъ оси OX можно узнать по знаку при ΣY.

Моментъ равнодѣйствующей системы силъ относительно оси OZ есть

$$M = \Sigma (x Y - y X) \ldots\ldots (3.)$$

и пара дѣйствуетъ вправо или влѣво смотря по знаку при M.

Разстояніе отъ равнодѣйствующей до точки O, считаемое по перпендикуляру есть

$$L = \frac{M}{R} \ldots\ldots (4.)$$

Если x_r и y_r координаты какой нибудь точки на линіи дѣйствія этой силы, то уравненіе этой линіи есть.

$$x_r \Sigma Y - y_r \Sigma X = M \ldots\ldots\ldots (5.)$$

При $M = o$ направленіе равнодѣйствующей проходитъ чрезъ начало координатъ; когда $R = o$, т. е. когда $\Sigma X = o$ и $\Sigma Y = o$, а M болѣе или менѣе нуля, то получается пара. Условія равновѣсія силъ суть

$$\Sigma X = 0;\ \Sigma Y = 0;\ M = 0 \ldots\ldots\ldots (6.)$$

100. Равновѣсіе и равнодѣйствующая всякой системы силъ. Для того чтобы найти равнодѣйствующую и условія равновѣсія какихъ бы то ни было силъ, приложенныхъ къ системѣ точекъ, надобно эти силы и эти точки отнести къ тремъ прямоугольнымъ осямъ координатъ.

Пусть по прежнему O начало координатъ (чер. 67), OX, OY, OZ три прямоугольныя оси, такъ расположенныя, что если смотрѣть отъ точекъ X, Y, Z въ сторону O то движенія отъ Y къ Z, отъ Z къ X и отъ X къ Y кажутся въ правую сторону.

Пусть буквы X, Y, Z означаютъ прямоугольныя составляющія которой нибудь изъ силъ; x, y, z координаты одной изъ точекъ на ея линіи дѣйствія.

Если взять алгебрическую сумму всѣхъ составляющихъ силъ по каждой изъ осей и всѣхъ паръ, вращающихъ во кругъ нее, то получится шесть величинъ, опредѣляющихъ равнодѣйствующія силу и пару.

Силы $\Sigma X;\ \Sigma Y;\ \Sigma Z; \ldots\ldots\ldots (1.)$

Пары относительно
$$\left.\begin{array}{l} O X;\ M_1 = \Sigma(yZ - zY); \\ O Y;\ M_2 = \Sigma(zX - xZ); \\ O Z;\ M_3 = \Sigma(xY - yX). \end{array}\right\} \ldots\ldots (2.)$$

Три силы ΣX, ΣY, ΣZ, сводятся на одну, которой величина есть

$$R = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma Y)^2 + (\Sigma Z)^2} \ldots\ldots\ldots (3.)$$

которой линія дѣйствія проходитъ чрезъ точку O и которой углы съ осями координатъ суть

$$\cos\alpha = \frac{\Sigma X}{R};\ \cos\beta = \frac{\Sigma Y}{R};\ \cos\gamma = \frac{\Sigma Z}{R} \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Изъ трехъ паръ M_1, M_2, M_3 составляется одна, которой моментъ есть

$$M = \sqrt{(M_1^2 + M_2^2 + M_3^2)}, \ldots\ldots (5.)$$

а ось ея составляетъ съ осями координатъ углы

$$\cos\lambda = \frac{M_1}{M}; \cos\mu = \frac{M_2}{M}; \cos\nu = \frac{M_3}{M}, \ldots (6.)$$

λ есть уголъ съ OX; μ уголъ съ OY; ν уголъ съ осью OZ.

Условія равновѣсія могутъ быть выражены въ двухъ видахъ

$$\Sigma X = 0; \Sigma Y = 0; \Sigma Z = 0; M_1 = 0; M_2 = 0; M_3 = 0; . (7.)$$

или
$$R = 0; \; M = 0 \ldots\ldots\ldots (8.)$$

Когда система силъ не находится въ равновѣсіи, то могутъ быть такіе случаи:

1й Случай. При $M = o$, равнодѣйствующая R проходитъ чрезъ начало координатъ.

2й Случай. Когда ось M перпендикулярна къ направленію силы R, что выражается уравненіемъ

$$\cos\alpha\cos\lambda + \cos\beta\cos\mu + \cos\gamma\cos\nu = 0; \ldots\ldots\ldots (9.)$$

тогда сила R и пара M сводятся на одну силу равную и параллельную R, дѣйствующую въ плоскости перпендикулярной къ оси M, и отъ точки O на разстояніи

$$L = \frac{M}{R} \ldots\ldots\ldots (10.)$$

3й Случай. $R = o$, равнодѣйствующей силы нѣтъ, а есть только пара.

4й Случай. Когда ось M параллельна направленію силы R, т. е. когда

$$\lambda = \alpha; \; \mu = \beta; \; \nu = \gamma, \ldots\ldots\ldots (11.)$$

или
$$\lambda = -\alpha; \; \mu = -\beta; \; \nu = -\gamma. \ldots\ldots (12.)$$

тогда нельзя всѣ данныя силы замѣнить одною равнодѣйствующею силою или одною парою, а будутъ и сила и пара вмѣстѣ и рѣшеніе вопроса нельзя болѣе упростить.

5й Случай. Ось M наклонна къ направленію силы R и составляетъ съ нею уголъ θ, котораго величина опредѣляется изъ уравненія

$$\cos\theta = \cos\lambda\cos\alpha + \cos\mu\cos\beta + \cos\nu\cos\gamma, \ldots\ldots (13.)$$

Тогда пара M разлагается на двѣ составляющія перпендикулярныя между собою пары

$$M \sin \theta \text{ и } M \cos \theta \ldots\ldots\ldots (14.)$$

Первая вращаетъ систему около оси, перпендикулярной къ R и заключающейся въ одной плоскости съ этой силой и съ осью M; вторая вокругъ оси параллельной силѣ R.

Сила R и пара $M \sin \theta$ сводятся, какъ въ 2мъ случаѣ, на одну силу равную и параллельную R, которая находится въ плоскости перпендикулярной къ той, которая содержитъ силу R и ось M и которой разстояніе отъ O

есть $$L = \frac{M \sin \theta}{R} \ldots\ldots (15.)$$

Вторую пару $M \cos \theta$ нельзя уже соединить съ этою силою.

Изъ всего этаго видно, что если система какихъ нибудь силъ не находится въ равновѣсіи, то она можетъ быть замѣнена: 1) одною силою какъ 1 и 2 случаяхъ, 2) одною парою, какъ въ 3 случаѣ, 3) одною силою и одною парою, дѣйствующею въ плоскости, перпендикулярной къ линіи дѣйствія силы, какъ въ 4 и 5 случаяхъ; послѣднее можетъ быть только при непараллельныхъ силахъ, потому что параллельныя силы всегда сводятся или на одну силу или на одну пару.

101. Преобразованія въ Статикѣ, параллельныя проложенія. Если двѣ геометрическія фигуры такъ расположены, что каждой точкѣ одной фигуры соотвѣтствуетъ точка другой фигуры, и каждой парѣ равныхъ и параллельныхъ линій одной фигуры соотвѣтствуетъ пара равныхъ и параллельныхъ линій во второй фигурѣ, то такія фигуры составляютъ *параллельныя проложенія* одна другой.

Алгебрически это отношеніе фигуръ выражается слѣдующимъ образомъ: пусть фигура отнесена къ тремъ прямо — или косоугольнымъ осямъ координатъ, x, y, z координаты одной изъ ея точекъ напримѣръ A. Другая фигура отнесена къ тремъ другимъ осямъ координатъ, сходнымъ съ осями первой системы или отличающимся отъ нее: пусть x^1, y^1, z^1 координаты относительно этихъ осей точки A' второй фигуры, соотвѣтствующей точкѣ A первой фигуры. Пусть координаты A' и A находятся въ отношеніяхъ выражаемыхъ уравненіями

$$\frac{x'}{x}=a;\ \frac{y'}{y}=b;\ \frac{z'}{z}=c;$$

Если координаты каждой пары соотвѣтственныхъ точекъ находятся въ томъ же постоянномъ отношеніи, то фигуры эти служатъ одна другой параллельными проложеніями.

Такъ, напримѣръ, всѣ круги и элипсы суть параллельныя проложенія одинъ другаго; тоже свойство имѣютъ шары, сфероиды и элипсоиды; всѣ тригольныя пирамиды, всѣ цилиндры и всѣ тригольники.

Вотъ важнѣйшія для статики геометрическія свойства параллельныхъ проложеній:

I. Параллельныя проложенія трехъ точекъ, лежащихъ на одной прямой, тоже находятся въ прямой линіи и разстоянія между точками на первой прямой пропорціональны разстояніямъ на второй.

II. Параллельное проложеніе системы параллельныхъ линій, длины которыхъ находятся въ данномъ отношеніи, есть также система параллельныхъ линій, которыхъ длины имѣютъ то же отношеніе.

III. Параллельное проложеніе сомкнутаго многоугольника есть тоже сомкнутый многоугольникъ.

IV. Параллельное проложеніе параллелограмма есть параллелограммъ.

V. Параллельное проложеніе параллелепипеда есть параллелепинедъ.

VI. Если параллельнымъ проложеніемъ пары фигуръ, начерченныхъ на двухъ параллельныхъ плоскотяхъ, служитъ пара фигуръ на другихъ параллельныхъ между собою плоскостяхъ, то площади проложеній находятся въ томъ же взаимномъ отношеніи, какъ и площади первыхъ фигуръ.

VII. Когда параллельными проложеніями двухъ объемовъ служать два другіе объема, то первые два объема находятся въ томъ же отношеніи, въ какомъ и другіе два.

Механическія свойства параллельныхъ проложеній въ соединеніи съ законами, излагаемыми въ этомъ отдѣлѣ, суть:

VIII. Если двѣ системы точекъ составляютъ взаимныя проложенія, и если къ каждой изъ нихъ приложена система параллельныхъ силъ, служащихъ тоже проложеніями одна другой, то центры параллельныхъ силъ обѣихъ системъ будуть одинъ проложеніемъ другаго, и находятся

въ томъ же относительномъ положеніи какъ и каждая пара соотвѣтственныхъ точекъ обѣихъ системъ.

IX. Если находящуюся въ равновѣсіи систему силъ, приложенныхъ къ системѣ точекъ, представить прямыми линіями, то всякое параллельное проложеніе этой системы линій, представляетъ систему взаимно уравновѣшивающихся силъ. Если двѣ системы силъ могутъ быть представлены системами линій, служащихъ параллельными проложеніями другъ другу, то линіи, представляющія ихъ равнодѣйствущія, будутъ тоже взаимными параллельными проложеніями; при этомъ надобно замѣтить, что пары должны быть изображаемы двумя силами, параллельными между собою и дѣйствующими въ противныя стороны, или площадями, а не моментами ихъ, отложеными на осяхъ.

ОТДѢЛЪ III. РАЗПРЕДѢЛЕННЫЯ СИЛЫ.

102. Разпредѣленныя силы вообще. (Distributed forces). Въ § 90 сказано было, что на дѣлѣ сила никогда не сосредоточивается въ одной точкѣ, а всегда разпредѣляется на какую нибудь поверхность или на объемъ: но всегда можно эти разпредѣленныя силы замѣнить или одною равнодѣйствующею силою, или одною парою, или силою и парою вмѣстѣ.

Въ приложеніяхъ механики къ строительному искуству разсматривается одна только сила, разпредѣляющаяся на весь объемъ тѣла, это притяженія его землею или его *вѣсъ;* по незначительности объема тѣлъ, на землѣ находящихся, съ объемомъ земнаго шара, можно считать что притяженіе это дѣйствуетъ на всѣ части тѣлъ по параллельнымъ направленіямъ. Кромѣ того всѣ силы, разпредѣленныя по какой нибуть поверхности, бываютъ или параллельны между собою или могутъ быть преобразованы въ параллельныя силы. Изъ этаго слѣдуетъ, что разсматриванію строителя подлежатъ только параллельно разпредѣляющіяся силы, которыя всегда могутъ быть замѣнены или одною силою или одною парою.

Единичною величиною (intensity) разпредѣленной силы называется отношеніе силы, выраженной въ единицахъ вѣса, къ тому пространству, на которомъ она дѣйствуетъ, выраженному въ единицахъ объема или поверхности; за *единицу величины* принимается единица силы разпредѣлен-

ная на единицу объема или поверхности: такъ что есть два рода единицъ для разпредѣленныхъ силъ. Напримѣръ одинъ пудъ на кубическій футъ принимается за единицу для измѣренія силъ, распредѣленныхъ по всему объему тѣла, какъ вѣсъ; а одинъ пудъ на квадранный футъ для силъ разпространенныхъ на поверхности, таковы давленія и треніе.

103. Вѣсъ. — Относительный вѣсъ. Единичная величина силы тяжести какого нибудь тѣла выражается или числомъ единицъ вѣса, заключающихся въ единицѣ объема напримѣръ число пудовъ которое вѣситъ одинъ кубическій футъ; или она выражается отношеніемъ между вѣсомъ нѣкотораго объема тѣла и вѣсомъ такого же объема другаго тѣла, принятаго за единицу сравненія (перегнатая вода), при извѣстномъ давленіи (атмосферное давленіе въ 1628 фунтовъ на квадратный дюймъ) и при извѣстной температурѣ ($3^0\frac{1}{5}$ Р). Отношеніе это называется *относительнымъ* или *удѣльнымъ вѣсомъ* тѣла; но количество единицъ вѣса, заключающихся въ единицѣ объема не имѣетъ въ механикѣ особаго названія, можно бы принять для этаго слово *вѣскость* (heaviness).

Для того, чтобы отъ относительнаго вѣса тѣла перейти къ его вѣскости надобно умножить его относительный вѣсъ на вѣсъ единицы объема вещества, принятаго за единицу сравненія т. е. перегнанной воды: а одинъ кубическій футъ воды при $3^0.2$ Р вѣситъ 69.1432 фунта или 1.72858 пуда. Въ концѣ этой главы, а также въ памятной книжкѣ (стр. 381) помѣщены таблицы относительнаго вѣса и вѣскости матеріаловъ, употребляемыхъ при постройкахъ: цифры относящіяся къ твердымъ тѣламъ суть среднія, потому что разные образцы одинаковыхъ веществъ имѣютъ часто разный относительный вѣсъ, да и вещество тѣлъ не во всѣхъ ихъ частяхъ имѣетъ одинакій вѣсъ; но истинныя величины мало отклоняются отъ среднихъ, которыя по этому могутъ быть принимаемы за основаніе расчетовъ при проэктированіи строеній.

104. Центръ тяжести тѣла или системы тѣлъ, есть та точка, черезъ которую проходитъ равнодѣйствующая вѣса тѣла или системы тѣлъ, это есть центръ параллельныхъ силъ притяженія тѣлъ къ землѣ.

Чтобы поддержать тѣло, т. е. уравновѣсить его притяженіе къ землѣ, усиліе поддерживающее его должно дѣй-

ствовать по прямой, проходящей черезъ его центръ тяжести.

Когда говорятъ объ центрѣ тяжести геометрической фигуры или тѣла, то разъумѣютъ ту его точку, гдѣ былъ бы центръ тяжести, если бы фигура или объемъ наполнены были совершенно однороднымъ веществомъ. Вотъ употребительнѣйшіе способы опредѣленія центровъ тяжести:

I. Въ тѣлѣ, имѣющемъ геометрическій центръ, онъ есть и центръ тяжести: а центромъ тѣла или объема называется такая точка, въ которой всѣ проходящія чрезъ нее сѣкущія дѣлятся по поламъ. Такіе центры есть въ шарѣ, элипсоидѣ, прямомъ цилиндрѣ, элиптическомъ цилиндрѣ, призмѣ, имѣющей основаніемъ фигуру съ центромъ, въ параллелепипедѣ прямоугольномъ и наклонномъ.

II. Общій центръ тяжести системы тѣлъ, которыхъ центры тяжести извѣстны, есть центръ вѣсовъ этихъ тѣлъ, принятыхъ за параллельныя силы, дѣйствующія въ ихъ центрахъ тяжести.

III. Если въ тѣлѣ есть плоскость раздѣляющая его на двѣ симметрическія части, то центръ тяжести находится въ этой плоскости; когда въ тѣлѣ есть двѣ такія плоскости, то онѣ пересѣкаются въ прямой, называемой *осью симметріи* и центръ тяжести находится на этой оси; когда три или болѣе плоскостей симметріи пересѣкаются въ одной точкѣ, то эта точка есть центръ тяжести.

IV. Чтобы найти центръ тяжести однороднаго тѣла, надобно провесть три оси координатъ какъ на чер. 67.

Если разсѣчь тѣло рядомъ плоскостей, которыя раздѣлили бы его на слои безконечно малой толщины и параллельные одной изъ плоскости координатъ, напримѣръ YZ, и означить буквою s площадь однаго изъ сѣченіи, dx толщину слоя, то объемъ тѣла будетъ

$$V = \int s\,dx \ldots\ldots\ldots\ldots$$

потому что этотъ объемъ есть сумма объемовъ всѣхъ слоевъ. Пусть x означаетъ разстояніе центра тяжести этого слоя до плоскости YZ, тогда разстояніе центра тяжести тѣла до этой плоскости есть

$$x_0 = \frac{\int x\,s\,dx}{V} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

Найдя такимъ же путемъ разстоянія этаго центра до другихъ плоскостей, опредѣлимъ и самый центръ тяжести.

Если извѣстно, что центръ тяжести находится въ какой нибудь плоскости, то достаточно опредѣлить его разстояніе до двухъ плоскостей координатъ, не параллельныхъ этой плоскости; а когда извѣстна прямая, на которой долженъ находиться центръ тяжести тѣла, то достаточно опредѣлить разстояніе его до одной изъ плоскостей координатъ, не параллельной этой прямой; удобнѣе всего взять плоскость перпендикулярную къ прямой.

V. При неравномѣрной плотности тѣла или измѣненіи относительнаго вѣса вещества въ разныхъ частяхъ тѣла, если w означаетъ среднюю вѣскость слоя sdx, то вѣсъ тѣла есть

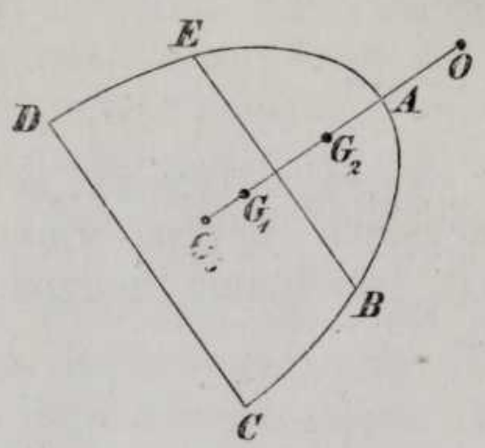
$$W = \int w s d x,$$

$$\text{и} \quad x_0 = \frac{\int w s x d x}{W} \quad \ldots\ldots\ldots (2.)$$

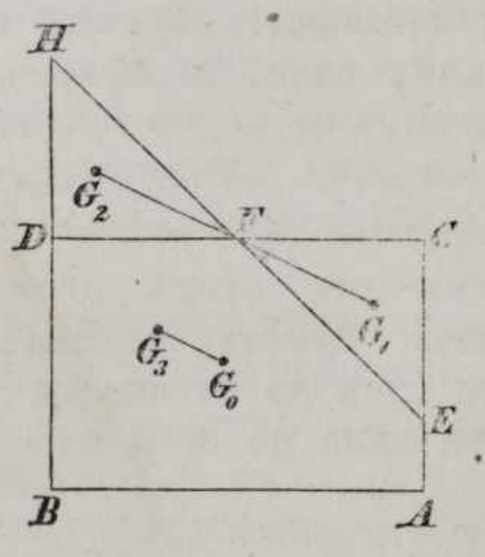
VI. Когда тѣло состоитъ изъ частей, которыхъ центры тяжести извѣстны, то общій центръ тяжести всего тѣла опредѣляется по правилу II.

VII. Когда тѣло можетъ быть разсматриваемо какъ часть другаго бо̀льшаго тѣла, котораго центръ тяжести извѣстенъ, и когда извѣстенъ центръ тяжести остальныхъ частей, то центръ даннаго тѣла найдется слѣдующимъ образомъ.

Пусть ACD (чер. 68) полное тѣло, G_1 его центръ тяжести, W_1 его вѣсъ; $EBCD$ тѣло, котораго центръ ищется и которое составляетъ вмѣстѣ съ тѣломъ ABE полное



Чер. 68.



Чер. 69.

тѣло; пусть центръ тѣла ABE находится въ G_2, а вѣсъ его W_2. Вѣсъ тѣла $BCDE$ есть

$$W_3 = W_1 - W_2$$

Если соединить точки G_1 и G_2 прямою линіею, то центръ G_3 даннаго тѣла будетъ на этой линіи. Чтобы найти его, надобно избрать произвольную точку O на этой прямой, пусть $OG_1 = x_1$, $OG_2 = x_2$, $OG_3 = x_3$.

$$x_3 = \frac{x_1 W_1 - x_2 W_2}{W_1 - W_2} \quad \ldots\ldots (3.)$$

VIII. Центръ тяжести можно иногда найти перемѣщеніемъ. Пусть $ABCD$ (чер. 69) представляетъ тѣло вѣсомъ W_0, центръ его тяжести G_0 извѣстенъ, часть этаго тѣла ECF перенесена въ HDF и образовалось новое тѣло $ABHE$; G_1 есть первоначальное, G_2 новое положеніе центра тяжести перемѣщенной части тѣла. Центръ тяжести всего тѣла перемѣстится изъ G_0 въ G_3 по линіи параллельной G_1G_2 на количество

$$\overline{G_0G_3} = \overline{G_1G_2}\,\frac{W_1}{W_0} \quad \ldots\ldots\ldots (4.)$$

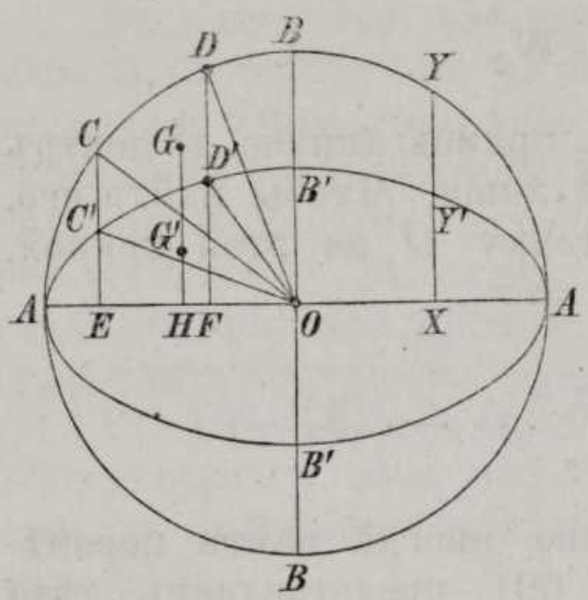
IX. Если двѣ площади или два объема однороднаго вещества суть взаимныя параллельныя проложенія одинъ другаго, то центры ихъ тяжести суть соотвѣтственныя точки въ этихъ проложеніяхъ.

Чтобъ выразить это математическими знаками какъ въ § 101, надобно означить буквами x, y, z прямо- или косоугольныя координаты какой нибудь точки перваго тѣла, x', y', z' координаты соотвѣтствующей ей точки другаго тѣла относительно какихъ нибудь осей; x_0, y_0, z_0 координаты центра тяжести перваго, x'_0, y'_0, z'_0 координаты центра тяжести втораго тѣла, тогда

$$\frac{x'_0}{x_0} = \frac{x'}{x};\ \frac{y'_0}{y_0} = \frac{y'}{y};\ \frac{z'_0}{z_0} = \frac{z'}{z} \quad \ldots\ldots (5.)$$

Эта теорема облегчаетъ отыскиваніе центровъ тяжести фигуръ, которыя суть параллельныя проложенія другихъ простѣйшихъ фигуръ.

Пусть напримѣръ извѣстно какъ найти центръ тяжести вырѣзка круга и нужно найти центръ тяжести вырѣзка элипса $C'OD'$; полуоси элипса суть $AO=a$, $B'O=b$. Изъ центра O элипса надобно описать кругъ радіусомъ равнымъ большой полуоси, черезъ C' и D' провести линіи $C'E$ и $D'F$ параллельно OB, онѣ пересѣкутъ окружность круга въ точкахъ C и D; когда соединимъ эти точки съ центромъ, то получится вырѣзокъ круга COD, составляющій параллельное положеніе вырѣзка элипса. Если G есть центръ тяжести вырѣзка круга, и x_0, y_0 координаты этой точки, то координаты G', центра тяжести вырѣзка элипса, будутъ



Чер. 70.

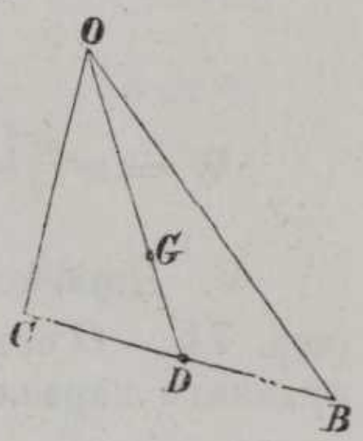
$$\left.\begin{aligned} \overline{\mathrm{OH}} &= x'_0 = x_0 \\ \overline{\mathrm{HG'}} &= y'_0 = \frac{b\,y_0}{a} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots (6.)$$

X. Опредѣленіе центра тяжести опытомъ производится слѣдующимъ образомъ: надобно повѣсить тѣло одной точкой на свободной нити, продолженіе ея пройдетъ чрезъ центръ тяжести тѣла; повѣсить тѣло другой точкой, продолженіе нити пройдетъ также чрезъ центръ тяжести: пересѣчніе этихъ двухъ линій есть искомая точка.

105. Примѣры опредѣленія вѣса и центра тяжести. Въ этихъ примѣрахъ даются формулы для нахожденія центровъ тяжести и вѣса однородныхъ тѣлъ такихъ формъ, какія чаще всего встрѣчаются на дѣлѣ: въ всѣхъ ихъ w означаетъ *вѣскость*, W вѣсъ тѣла, x_0, y_0, z_0 координаты центра тяжести, означаемаго на чертежахъ буквою G, буква O на чертежахъ всегда поставлена въ началѣ координатъ.

A. *Призмы и цилиндры съ параллельными основаніями.* Слово цилиндръ здѣсь принимается въ самомъ обширномъ смыслѣ, оно означаетъ поверхность произведенную движеніемъ плоской кривой параллельно самой себѣ.

Правила здѣсь приводимыя прилагаются къ плоскимъ, слоямъ равномѣрной толщины. Въ выраженіяхъ вѣса длина тѣла или его толщина принимается за единицу длины. Центръ тяжести всегда находится въ срединѣ длины или толщины, и формулы даютъ его положеніе въ плоскости сѣченія призмы или цилиндра, котораго основаніе есть геометрическая фигура, названная въ началѣ каждаго примѣра.



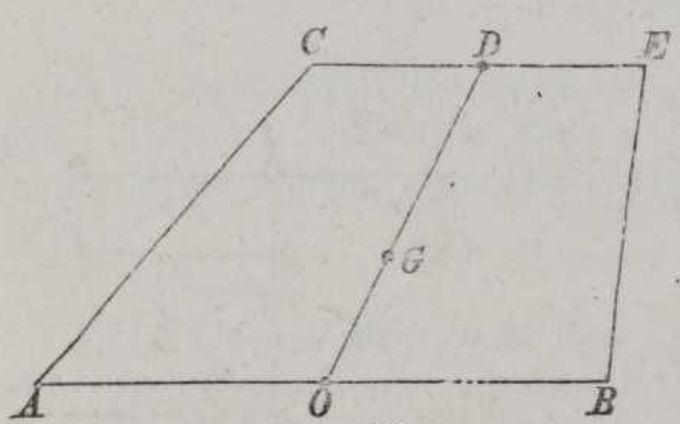
Чер. 71.

I. *Треугольникъ* (чер. 71). Величина однаго изъ угловъ O. Надобно раздѣлить пополамъ BC въ точкѣ D и соединить O и D прямою.

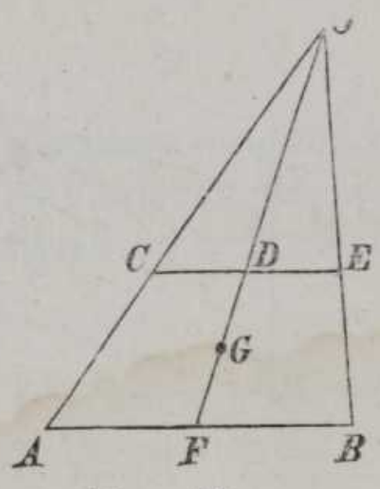
$$x_0 = \overline{OG} = \frac{2}{3}\overline{OD}$$

$$W = \frac{w \cdot OD \cdot BC \sin ODC}{2}$$

II. *Многоугольникъ.* Надобно раздѣлить его на треугольники, отыскать центръ тяжести каждаго изъ нихъ и потомъ общій центръ тяжести всѣхъ вмѣстѣ по правилу II § 104.



Чер. 72.



Чер. 73.

III. *Трапеція* (чер. 72) $AB \parallel CE$; бо́льшее основаніе $AB = B$, меньшее $CE = b$. Надобно раздѣлить AB и CE пополамъ въ точкахъ O и D, соединить O и D

$$x_0 = \overline{OG} = \frac{\overline{OD}}{2}\left(1 - \frac{1}{3}\cdot\frac{B-b}{B+b}\right)$$

$$W = w \cdot \overline{OD} \cdot \frac{B+b}{2} \cdot \sin DOB$$

IV. *Трапеція* (чер. 73). Другое рѣшеніе. Непараллельныя стороны встрѣчаются въ точкѣ O.

$$\overline{OF} = x_1, \overline{OD} = x_2, OG = x_0$$

$$x_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{x_1^3 - x_2^3}{x_1^2 - x_2^2}$$

$$W = w \cdot \frac{x_1^2 - x_2^2}{2} \cdot \sin^2 OFB \left\{ \operatorname{cotg} OAB + \operatorname{cotg} OBA \right\}$$

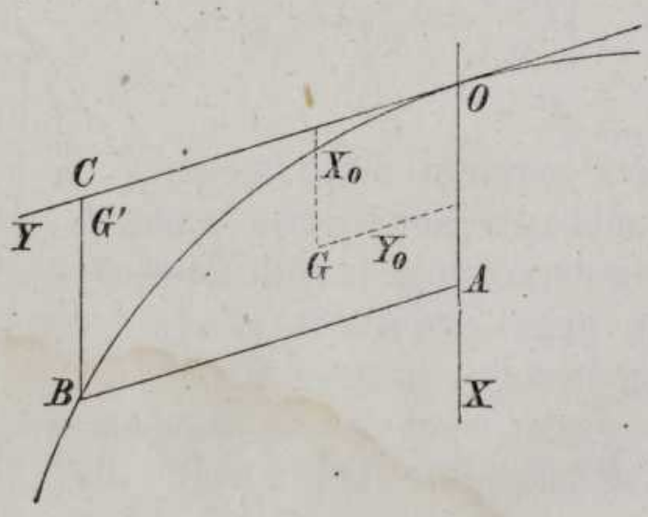
V. *Параболическій полуподужникъ* (Half-segment) *OAB* (чер. 74). *O* есть вершина діаметра *OX*, $\overline{OA} = x_1$; $AB = y_1$ ордината параллельная касательной *OY*.

$$x_0 = \frac{3}{5} x_1 \qquad y_0 = \frac{3}{8} y_1. \qquad W = \frac{2}{3} w . x_1 y_1 \sin XOY$$

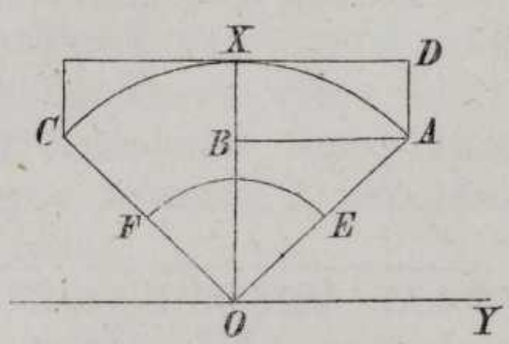
VI. *Параболическій наддужникъ OBC* (Spandril). Центръ тяести *G'*

$$x_0 = \frac{3}{10} x_1 \quad y_0 = \frac{3}{4} y_1$$

$$W = \frac{1}{3} w\, x_1 y_1 \sin XOY.$$



Чер. 74.



Чер. 75.

VII. *Круговой вырѣзокъ* (Sector) *OAC* (чер. 75). Уголъ *OAC* дѣлится пополамъ линіею *OX*; *OY* перпендикулярна къ *OX*, радіусъ OA = r, полудуга при радіусѣ, принятомъ за единицу $\frac{AC}{2AO} = \theta$

$$x_0 = \frac{2}{3} r \frac{\sin\theta}{\theta}\ ; y_0 = 0$$

$$W = w r^2 \theta.$$

VIII. *Круговой полуподдужникъ ABX*

$$x_0 = \frac{2}{3} r \cdot \frac{\sin^3 \theta}{\theta - \sin \theta \cos \theta}; y_0 = r \cdot \frac{4 \sin^2 \frac{\theta}{2} - \sin^2 \theta \cos \theta}{3 (\theta - \cos \theta \sin \theta)}$$

$$W = \frac{1}{2} w r^2 (\theta - \cos \theta \sin \theta)$$

IX. *Круговой наддужникъ ADX*

$$x_0 = \frac{1}{3} r \cdot \frac{\sin^3 \theta}{2 \sin \theta - \sin \theta \cos \theta - \theta};$$

$$y_0 = \frac{1}{2} r \cdot \frac{3 \sin^2 \theta - 2 \sin^2 \theta \cos \theta - 4 \sin^2 \frac{\theta}{2}}{2 \sin \theta - \sin \theta \cos \theta - \theta}$$

$$W = wr^2 \left(\sin \theta - \frac{1}{2} \sin \theta \cos \theta - \frac{\theta}{2} \right).$$

X. *Вырѣзокъ кольца ACFE;* радіусъ $\overline{OE} = r'$

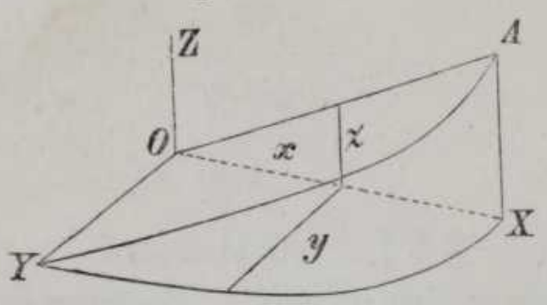
$$x_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{r^3 - r'^3}{r^2 - r'^2} \cdot \frac{\sin \theta}{\theta}; \; y_0 = 0.$$

$$W = w (r^2 - r'^2) \theta$$

XI. *Эллиптическій вырѣзокъ, полуподдужникъ и наддужникъ.* Центры тяжести этихъ фигуръ получаются посредствомъ круговыхъ параллельныхъ проложеній по статьѣ IX. § 104.

Б. Клинья.

XII. *Общія формулы для клиньевъ.* Всѣ клинья могутъ быть раздѣлены на части, подобныя представленной на чер. 76; OAY и OXY суть плоскости пересѣкающіяся въ ребрѣ OY; AXY есть цилиндрическая или призматическая поверхность, перпендикулярная къ плоскости OXY; OXA плоскій треугольникъ перпендикулярный къ ребру OY; OZ ось перпендикулярная къ XOY; $OX = x_1$, $XA = z_1$, тогда



Чер. 76.

$$z = \frac{z_1 x}{x_1}; \; W = w \cdot \frac{z_1}{x_1} \int x y \cdot dx$$

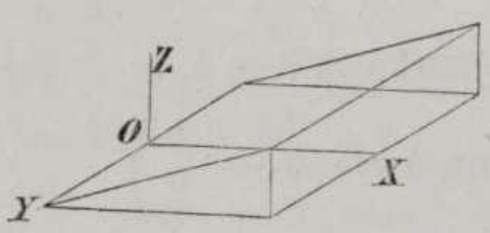
$$x_0 = \frac{\int x^2 y \cdot dx}{\int x y \cdot dx}; \; y_0 = \frac{\int x y^2 \cdot dx}{2 \int x y \cdot dx}; \; z_0 = \frac{z_1 \, x_0}{2 x_1}.$$

Послѣднее уравненіе показываетъ, что центръ тяжести находится въ плоскости, раздѣляющей линію AX пополамъ и проходящей чрезъ ребро OY.

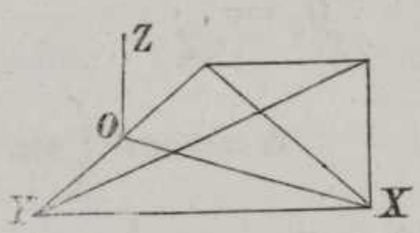
При симметрическомъ клинѣ, когда O находится на серединѣ ребра, тогда $y_0 = 0$; это представляютъ всѣ слѣдующіе примѣры, въ которыхъ длина ребра клина есть $2y_1$.

XIII. *Прямоугольный клинъ* (триугольная призма) чер. 77.

$$x_0 = \frac{2}{3} x_1, \quad W = w x_1 y_1 z_1$$



Чер. 77.



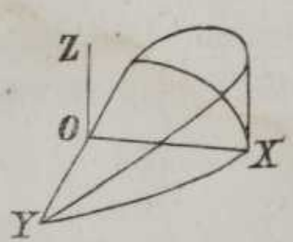
Чер. 78.

XIV. *Триугольный клинъ* или четырегранникъ (чер. 78).

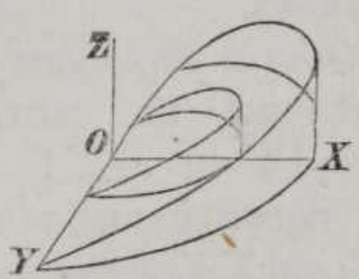
$$x_0 = \frac{1}{2} x_1, \quad W = \frac{1}{3} w x_1 y_1 z_1$$

XV. *Полукруглый клинъ* (чер. 79). Радіусъ $OX = OY = r$.

$$x_0 = \frac{3\pi}{16} r = 0.58905 \, r, \quad W = \frac{2}{3} w r^2 z_1$$



Чер. 79.



Чер. 80.

XVI. *Кольцевой или пустой внутри полукруглый клинъ* (чер. 80). Внѣшній радіусъ r, внутренній r'

$$x_0 = \frac{3\pi}{16} \; \frac{r^4 - r'^4}{r^3 - r'^3} \qquad W = \frac{2}{3} w (r^3 - r'^3) \frac{z_1}{r}$$

B. *Конусы и пирамиды.*

Вершина O конуса или пирамиды принимается за на-

чало координатъ, X есть центръ тяжести воображаемаго плоскаго слоя, котораго среднее сѣченіе совпадаетъ съ основаніемъ конуса или пирамиды. Центръ тяжести находится на оси OX; A есть площадь основанія; θ уголъ, составляемый плоскостью основанія съ осью OX.

XVII. *Конусъ или пирамида*, котораго ось — $OX = h$

$$x_0 = \frac{3}{4}h; \quad \mathrm{W} = \frac{1}{4}w \,.\, \mathrm{A}\, h \sin\theta.$$

XVIII. *Усѣченный конусъ или пирамида*, высотою h^1

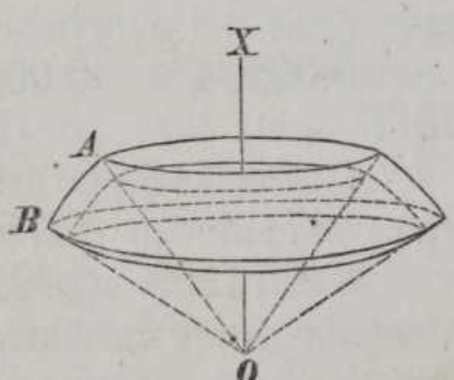
$$x_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{h^4 - h'^4}{h^3 - h'^3}; \quad \mathrm{W} = \frac{1}{3} w \,\mathrm{A}\, h \cdot \left(1 - \frac{h'^3}{h^3}\right) \sin\theta.$$

Г. *Части шара.*

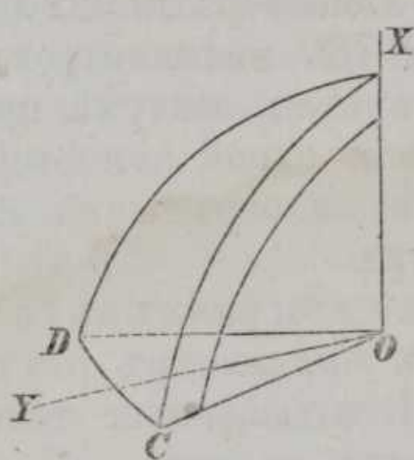
XIX. *Поясъ или кольцо шаровой чашки*, ограниченное двумя коническими поверхностями, имѣющими общую вершину въ центрѣ шара O (чер. 81). OX есть ось конусовъ и кольца, r внѣшній, r' внутренній радіусъ чашки, $\angle XOA = \alpha$ половина угла привершинѣ меньшаго конуса $\angle XOB = \beta$ бо́льшаго конуса.

$$x_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{r^4 - r'^4}{r^3 - r'^3} \cdot \frac{\cos\alpha + \cos\beta}{2};$$

$$\mathrm{W} = \frac{2\pi w}{3}\left(r^3 - r'^3\right) \cdot \left(\cos\beta - \cos\alpha\right)$$



Чер. 81.



Чер. 82.

XX. *Вырѣзокъ полушаровой чашки* CXD (чер. 82); линія OY дѣлитъ пополамъ уголъ DOC; $\frac{1}{2}\mathrm{D\,O\,C} = \theta$.

$$x_0 = \frac{3}{8} \cdot \frac{r^4 - r'^4}{r^3 - r'^3}; \quad y_0 = \frac{3\pi}{16} \cdot \frac{r^4 - r'^4}{r^3 - r'^3} \cdot \frac{\sin\theta}{\theta}$$

$$W = \frac{\theta w}{3}\left(r^3 - r'^3\right).$$

106. Напряженіе. Его единичная величина, равнодѣйствующая, центръ и моментъ. Подъ словомъ *напряженіе* (Stress) разъумѣются тѣ различныя силы, которыя проявляются или дѣйствуютъ между сосѣдними тѣлами или частями тѣлъ и которыя разпредѣляются по поверхности касанія тѣхъ массъ, между которыми онѣ дѣйствуютъ.

Единичною величиною (Intensity) напряженія называется число единицъ вѣса, выражающаго это напряженіе, раздѣленное на число единицъ площади, заключающихся въ той поверхности, по которой напряженіе распредѣляется.

Въ слѣдующей таблицѣ показана сравнительная величина единицъ, въ которыхъ напряженіе выражается.

	пуды на кв. футъ.	фунты на кв. дюймъ
Одинъ фунтъ на квадратный дюймъ	3.6	1
Одинъ пудъ на квадратный футъ	1	0.2778
Одинъ дюймъ ртути т. е. столбъ ртути высотою въ 1 дюймъ при 0°	1.9585	0.5440
Одинъ футъ воды при 3°,2 Р.	1.7286	0.4802
Одинъ дюймъ воды при 3°,2 Р.	0.1441	0.0400
Одинъ футъ воды при $13^1/_3{}^\circ$ Р.	1.7267	0.4799
Одинъ дюймъ воды при $13^1/_3$ Р.	0.1439	0.0399
Одна атмосфера 29.922 дюйма ртути или 760 миллиметровъ	58.6	16.28
Одинъ футъ воздуха при 0° и давленіи одной атмосферы	0.00224	0.000623
Одинъ килограмъ на квадратный метръ	0.0056713	0.0015752
Одинъ килограммъ на кв. миллиметръ	5671.3	1575.2
Одинъ миллиметръ ртути	0.0771209	0.0214225

Испытываемыя тѣлами напраженія могутъ быть слѣдующихъ родовъ.

I. *Распоръ* (thrust), *давленіе* (pressure) или *сжиманіе* есть сила, дѣйствующая между соприкасающими тѣлами или частицами тѣлъ, когда одно тѣло отодвигаетъ другое отъ себя.

II. *Натянутость* (pull), *вытягиваніе* (tension) есть сила, проявляющаяся между тѣлами, когда одно привлекаетъ другое къ себѣ.

Какъ распоръ, такъ и натянутость могутъ быть нормальны или наклонны къ тѣмъ поверхностямъ, по которымъ онѣ дѣйствуютъ; при аналитическомъ выраженіи этихъ напряженій одно изъ нихъ должно считаться положительнымъ, а другое отрицательнымъ. Хотя слово *давленіе* однозначительно съ словомъ *сжиманіе*, однакожъ иногда подъ этимъ словомъ, взятымъ въ обширномъ смыслѣ, разъумѣютъ и вытягиваніе, которое, какъ противоположное сжиманію, должно считать отрицательнымъ.

III. *Сдвиганіе* (Shear) или *касательное напряженіе* проявляющееся когда одно тѣло влечетъ другое въ сторону параллельно поверхности касанія.

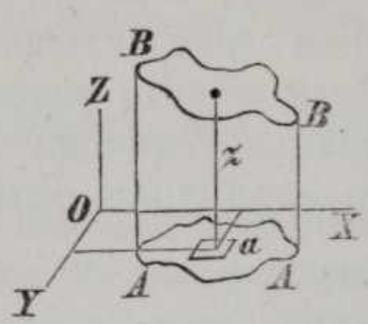
Теперь изложены будутъ правила для отыскиванія величины *равнодѣйствующей* напряженія, распредѣленнаго по плоской поверхности, и *центра напряженія* или той точки, чрезъ которую проходитъ эта равнодѣйствующая.

I. При равномѣрномъ напряженіи величина равнодѣйствущей равна произведенію единичной величины напряженія на площадь той поверхности, по которой оно дѣйствуетъ; а центръ напряженія находится въ центрѣ тяжести площади. Если S есть площадь, p единичная величина напряженія, P равнодѣйствующая, то

$$P = pS \ldots\ldots (1.)$$

II. При неравномѣрномъ напряженіи, котораго единичная величина измѣняется, но котораго родъ не измѣняется т. е. когда вездѣ дѣйствтетъ распоръ, натянутость или сдвиганіе въ одну сторону, равнодѣйствующая и центръ напряженія опредѣляются такъ:

Пусть AA (чер. 83) есть плоскость, въ которой дѣйствуетъ напряженіе; OX и OY прямоугольныя оси координатъ въ плоскости напряженія; OZ третья ось перпендикулярная къ этой плоскости. На площади AA построенъ объемъ ограниченный снизу этою площадью, съ боковъ цилиндрическою или призматическою поверхностью, которой производящая параллельна OZ, а сверху поверхностью, которой каждая ордината z пропорціональна единичной величинѣ напряженія въ ея подошвѣ a и выражается аналитически формулою



Чер. 83.

$$z=\frac{p}{w} \ldots\ldots (2.)$$

гдѣ p единичная величина напряженія, w вѣсъ единицы объема построеннаго тѣла.

Если площадь AA раздѣлить прямыми, параллельными осямъ координатъ, на элементы $dxdy$, то площадь AA будетъ равна

$$S=\int\int dxdy.$$

А объемъ построеннаго тѣла

$$V=\int\int zdxdy.$$

если w есть вѣсъ единицы объема этаго тѣла, то все напряженіе выразится тѣмъ же числомъ, какъ и объемъ тѣла или

$$P=\int\int pdxdy=wV.$$

Центръ же давленія будетъ находится на линіи, параллельной OZ и проходящей чрезъ центръ тяжести объема.

Простѣйшее и въ тоже время чаще всего встрѣчающееся измѣненіе напряженія есть пропорціональное разстоянію точекъ площади, на которой оно дѣйствуетъ, до прямой линіи, находящейся въ тойже плоскости: это есть *равномѣрно возрастающее* напряженіе. Тѣло, которое построено, есть тогда клинъ или часть его; такъ что величина равнодѣйствующей и центръ напряженія можно находить по § 105 статьямъ XII до XVI и § 104 статьямъ II и VII.

Для того, чтобы выразить равнодѣйствующую и положеніе центра напряженія алгебрически, можно принять, что единичная величина напряженія измѣняется пропорціонально разстоянію точки приложенія отъ оси OY, гдѣ оно нуль; площадь AA дѣлится линіями параллельными этой оси на полосы, которыхъ площадь есть ydx, $S=\int ydx$ есть величина всей площади, по которой дѣйствуетъ напряженіе. Если x есть разстояніе одной изъ полосъ отъ OY, a единичная величина напряженія на разстояніи единицы мѣры, то единичная величина напряженія въ этой полосѣ есть

$$p=ax \ldots\ldots (5.)$$

а величина равнодѣйствующей для всей площади.

$$P=\int pydx=a\int xydx \ldots\ldots (6.)$$

разстояніе же центра напряженія отъ оси OY.

$$x_0 = \frac{\int pxydx}{\int pydx} = \frac{a\int x^2ydx}{P} \quad \ldots\ldots (7.)$$

Приложенія этой формулы будутъ встрѣчаться при разсматриваніи давленія воды и земли, и устойчивости каменныхъ строеній.

III. Когда напряженія дѣйствуютъ въ противныя стороны, напримѣръ распоръ въ одной части плоскости и натянутость въ другой, то должно отыскать равнодѣйствующія и центры каждаго рода напряженій отдѣльно: потомъ разсматривая ихъ какъ силы параллельныя, дѣйствующія въ противныя стороны и приложенныя въ своихъ центрахъ напряженій, можно найти окончательную равнодѣйствующую, взявши ихъ разность и наконецъ опредѣлить точку приложенія, какъ въ § 97. ст. IV.

Если полный распоръ и полная натянутость равны между собою, то нѣтъ равнодѣйствующей, ни точки ея приложенія; а есть пара, которой моментъ равенъ всей величинѣ распора или натянутости, помноженной на перпендикулярное между ними разстояніе. Примѣры этому встрѣтятся, когда будетъ говориться объ сопротивленіи балокъ.

107. Давленіе и равновѣсіе жидкостей. Законы Гидростатики. Тѣла не *твердыя* называются *жидкими* или *жидкостями*, которыя бываютъ текучія и газообразныя: общее свойство всѣхъ жидкостей есть ихъ нестремленіе сохранять опредѣленную форму; когда это свойство принадлежитъ въ полной степени всѣмъ частямъ тѣла, то оно называется *совершенно жидкимъ*.

Необходимымъ слѣдствіемъ этаго свойства есть основный законъ всей гидростатики:

I. *Давленіе совершенной жидкости, въ спокойномъ состояніи, нормально къ той поверхности, на которую оно дѣйствуетъ, и величина его одинакова для всѣхъ положеній этой поверхности.*

Вотъ главнѣйшія слѣдствія, выводимыя изъ этаго закона.

II. *Поверхность равнаго давленія въ спокойной жидкой массѣ во всѣхъ мѣстахъ перпендикулярна къ направленію силы тяжести* т. е. горизонтальна. Иначе говоря, давленіе въ всѣхъ точкахъ горизонтальной поверхности имѣетъ одинакую величину.

III. *Давленіе въ низшей изъ двухъ точекъ жидкой массы*

въ спокойномъ состояніи болѣе, нежели давленіе въ высшей точкѣ на количество, равное вѣсу столба воды, имѣющаго высотою отвѣсное разстояніе этихъ точекъ, а основаніемъ единицу площади.

Чтобы выразить это аналитически, можно означить буквою p_0 единичную величину давленія въ высшей, p_1 такую же величину давленія въ точкѣ, которая ниже первой на x. Если w есть средняя вѣскость слоя жидкости между этими точками то

$$p_1 = p_0 + wx \ldots\ldots (1.)$$

Въ тѣлахъ газообразныхъ, каковъ на примѣръ воздухъ, w измѣняется почти пропорціонально p; но въ текучей жидкости, какова вода, измѣненія w такъ ничтожны, что въ приложеніяхъ можно принимать его постояннымъ.

Напримѣръ, пусть верхняя изъ двухъ точекъ находится на поверхности воды и слѣдовательно подвержена давленію атмосфернаго воздуха, которое и будетъ выражаться буквою p_0; если x выражено въ футахъ и вода имѣетъ температуру $3^0 2P$, то въ пудахъ на квадратный футъ

$$p_1 = p_0 + 1.7286x \ldots\ldots : (2.)$$

Въ многихъ случаяхъ инженерной практики давленія атмосферы можно не принимать въ расчетъ, потому что оно одинаково дѣйствуетъ на всю поверхность тѣла или со всѣхъ сторонъ и потому само себя уравновѣшиваетъ; такъ что изчисляемое давленіе воды есть всегда *избытокъ* давленія ея надъ давленіемъ атмосферы и оно можетъ быть такъ выражено

$$p^1 = p_1 - p_0 = 1.7286\,x \ldots\ldots (3.)$$

IV. Давленіе жидкости на *плавающее* или *погруженное* въ нее тѣло равно вѣсу количества воды, вытѣсненной этимъ тѣломъ; равнодѣйствующая этаго давленія направлена отвѣсно вверхъ и проходитъ чрезъ центръ тяжести объема вытѣсненной воды, который можно назвать *центромъ плаванія* (centre of buoyancy).

V. Давленіе жидкости на *погруженную* въ нее плоскость имѣетъ направленіе перпендикулярное къ этой плоскости, а величина его равна вѣсу столба жидкости, имѣющаго основаніемъ погруженную плоскость, а высотою степень погруженія центра тяжести этой плоскости.

VI. *Центръ давленія* находится въ центрѣ тяжести плоскости, если она горизонтальна; когда плоскость наклонна или отвѣсна, тогда центръ давленія всегда ниже центра тяжести. Чтобы найти его надобно разсматривать давленіе воды, какъ равномѣрно возрастающее напряженіе, пропорціональное въ каждой точкѣ разстоянію ея до пересѣченія плоскости съ поверхностью воды.

Чтобы выразить алгебрически послѣдніе два закона въ случаѣ наклонной плоскости, надобно принять за ось OY ту прямую, въ которой эта плоскость, продолженная если нужно пересѣкаетъ поверхность воды. Плоскость эту можно раздѣлить горизонтальными линіями, параллельными OY, на безконечно малой ширины полосы, длина каждой изъ нихъ будетъ y, ширина dx, а площадь ydx; если θ есть уголъ наклоненія плоскости къ горизонту, то $x \sin \theta$ есть глубина полосы подъ поверхностью воды, потому что x есть разстояніе ея до OY; назвавши w вѣсъ единицы объема воды, получимъ единичную величину давленія на эту полосу

$$\mathrm{p} = wx \sin \theta \ldots . (4.)$$

Полное давленіе на всю площадь $\mathrm{S} = \int yxd$ есть

$$\mathrm{P} = \int pydx = w \sin \theta \, xyxd \ldots . (5.)$$

Среднее давленіе

$$\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{S}} = \frac{\int pydx}{\int ydx} = w \sin \theta \frac{\int xydx}{\int ydx}; \ldots (6.)$$

Разстояніе же центра давленія отъ OY будетъ

$$x_0 = \frac{\int xpydx}{\int pydx} = \frac{\int x^2 ydx}{\int xydx} \ldots . (7.)$$

Если погруженная плоскость есть наклонный прямоугольникъ, подобно затвору плотины или грани стѣны водоёма; пусть длина его отъ поверхности воды до нижняго ребра есть x_1, слѣдовательно нижнее ребро находится на глубимъ $x_1 \sin \theta$; тогда средняя единичная величина давленія, выраженная въ пудахъ на квадранный футъ есть

$$\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{S}} = \frac{1 \cdot 73 \, x_1 \sin \theta}{2} \ldots . (8.)$$

потому что y постоянно; полное давленіе на всю площадь будетъ

$$P = \frac{1.73\, x_1^2\, y \sin\theta}{2} \ldots\ldots (9.)$$

а разстояніе отъ центра давленія до поверхности воды есть

$$x_0 = \frac{2}{3} x_1 \ldots\ldots (10.)$$

Если бы верхнее ребро плоскости было тоже погружено въ воду и разстояніе его отъ OY, или линіи сѣченія продолженной плоскости съ поверхностью воды, было бы x_2, тогда средняя величина давленія въ пудахъ на квадратный футъ была бы

$$\frac{P}{S} = \frac{1.73\,(x_1 + x_2)\sin\theta}{2} \ldots\ldots (11,)$$

Площадь погруженной поверхности есть $(x_1 - x_2)y$, а полное давленіе на нее

$$P = \frac{1.73\,(x_1^2 - x_2^2)\, y \sin\theta}{2} \ldots (12.)$$

Разстояніе центра давленія отъ линіи OY есть

$$x_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{x_1^3 - x_2^3}{x_1^2 - x_2^2} \ldots\ldots (13.)$$

108. Сложныя внутренныя напряженія въ твердыхъ тѣлахъ. Когда на двухъ концахъ призматическаго тѣла дѣйствуютъ двѣ равныя, прямопротивоположныя и другъ друга уравновѣшивающія силы и мы проведемъ въ тѣлѣ умственно плоскость, которая дѣлитъ это тѣло на двѣ какія нибудь части, тогда каждая частица тѣла, находящаяся въ плоскости дѣленія, подвергается дѣйствію окружающихъ ее частицъ или *внутреннему напряженію*. Когда плоскость дѣленія перпендикулярна къ направленію дѣйствующихъ силъ, тогда полное напряженіе въ этой плоскости равно силѣ P, приложенной въ концѣ тѣла, а величина напряженія на единицу площади или единичная величина напряженія есть.

$$p = \frac{P}{S} \ldots\ldots (1.)$$

гдѣ S есть площадь сѣченія.

Пусть плоскость сѣченія перемѣнила положеніе и стала подъ угломъ θ къ прежнему, тогда площадь сѣченія

будетъ $\frac{S}{\cos\theta}$, а единичная величина напряженія

$$p_\theta = \frac{P\cos\theta}{S} = \cos\theta$$

Напряженіе p было прямое, простое или нормальное т. е. распоръ или натянутость, напряженіе $p\theta$ есть наклонное и можетъ быть по ур. (4.) § 94 разложено на два: прямое напряженіе и сдвиганіе.

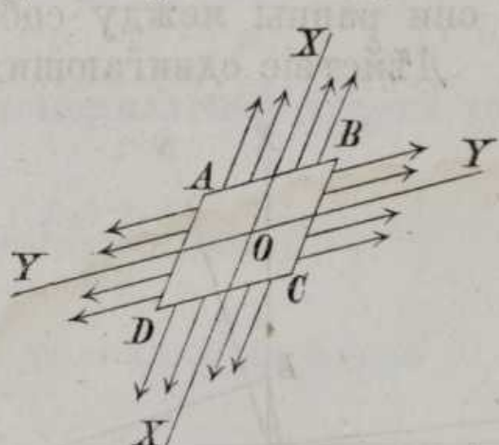
Первое есть $p_\theta \cos\theta$, второе $p_\theta \sin\theta$, а какъ $p\theta = p\cos\theta$ то нормальное напряженіе равно

$$\left.\begin{array}{l} p.\cos^2\theta \ldots\ldots \\ p.\sin\theta\cos\theta \ldots\ldots \end{array}\right\} \text{(3.)}$$

а касательное

Въ твердомъ тѣлѣ можетъ дѣйствовать нѣсколько независимыхъ другъ отъ друга напряженій, каждое въ своей плоскости, къ которой оно можетъ быть нормально или наклонно.

I. Сопряженныя напряженія (conjugate stress). Когда два напряженія дѣйствуютъ въ тѣлѣ и каждое изъ нихъ параллельно той плоскости, по которой дѣйствуетъ другое напряженіе, то такія напряженія называются сопряженными. Такъ, напримѣръ, на частицу призматической формы $ABCD$ (чер. 84.) по гранямъ AB и CD дѣйствуютъ напряженяі X и X; а на другихъ двухъ граняхъ AD и BC параллельныхъ XOX другія напряженія параллельно гранямъ AB и CD; такія напряженія суть сопряженныя, они могутъ быть однаго или разныхъ родовъ т. е. распоры или натянутости. Можетъ существовать еще третье, сопряженное съ этими двумя напряженіями, дѣйствующее въ плоскости чертежа по направленію параллельному линіи сѣченія плоскостей XOX и YOY дѣйствія первыхъ двухъ напряженій, которыя могутъ быть перпендикулярны къ плоскости чертежа; но четвертаго, сопряженнаго съ этими, напряженія быть уже не можетъ.



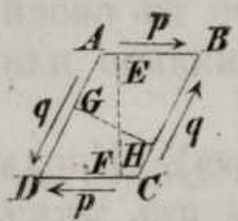
Чер. 84.

Когда сопряженныя между собою напряженія перпендикулярны одно къ другому, то они называются *главными*;

а ихъ направленія, перпендикулярныя къ плоскостямъ дѣйствія, суть *оси напряженій.*

Въ жидкости давленіе всегда перпендикулярно къ плоскости дѣйствія и потому всякое направленіе есть ось напряженія, а единичная величина напряженія постоянна; въ твердомъ тѣлѣ тоже всякое направленіе можетъ быть осью напряженія, но единичная величина напряженія измѣняется съ перемѣною направленія плоскости дѣйствія. Въ твердомъ тѣлѣ главныя напряженія въ одной точкѣ могутъ быть разнаго рода и разной величины, а въ сыпучемъ тѣлѣ отношеніе между главными напряженіями имѣетъ предѣлъ, зависящій отъ тренія.

II. *Единичныя величины двухъ сдвигающихъ напряженій, дѣйствующихъ въ разныхъ плоскостяхъ, равны между собою.* По гранямъ AB и CD (чер. 85) дѣйствуютъ на призматическую частицу напряженія единичной величины p, полныя напряженія суть $p.\ пл.\ AB$, они образуютъ пару, которой моментъ есть $p.пл.\ AB.EF$; по другимъ двумъ гранямъ AD и BC тойже частицы дѣйствуютъ напряженія величиною q на единицу площади, полныя напряженія суть $q.\ пл.\ AD$, а моментъ пары $q.\ пл.\ AD.\ GH$. Для равновѣсія нужно чтобъ моменты были равны; а какъ каждое изъ произведеній $пл.\ AB.\ EF$ и $пл.\ AD.\ GH$ представляетъ обьемъ частицы, то они равны между собою, а слѣдовательно p равно q.

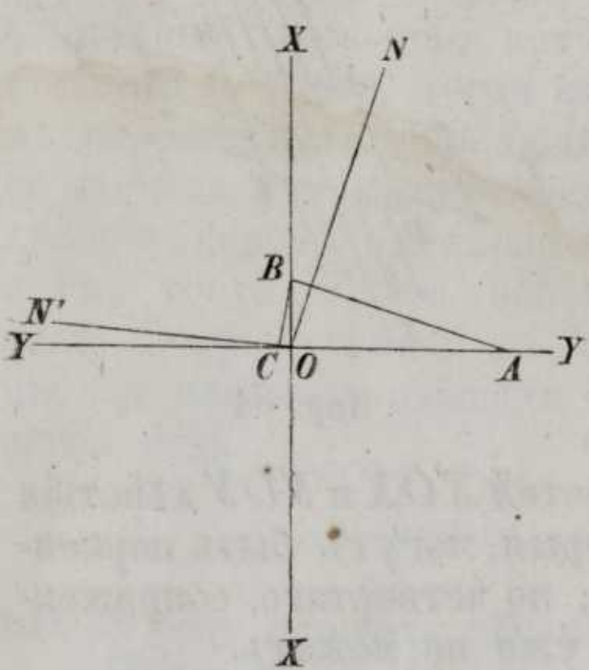


Чер. 86.

Дѣйствіе сдвигающихъ напряженій на частицу состоитъ въ томъ, что они стремятся ее перекосить: уменьшить діагональ AC и увеличить діагональ BD.

III. *Преобразованіе сопряженныхъ напряженій.*

1й *Случай.* Въ тѣлѣ дѣйствуютъ два однородныхъ главныхъ напряженія p_x и p_y по направленіямъ XX и $УУ$ (чер. 86), требуется узнать ихъ дѣйствіе въ плоскости AB, перпендикулярной къ линіи ON, которая составляетъ съ осью XX данный уголъ $\wedge nx$.



Чер. 86.

Полныя взаимно перпендикулярныя напряженія на AO и BO, положенія AB, суть

$$p_x \cdot \mathrm{AB} \cos \overset{\wedge}{nx} \quad \text{и} \quad p_y \cdot \mathrm{AB} \sin \overset{\wedge}{nx}$$

Вмѣстѣ они составятъ напряженіе, котораго единичная величина на плоскости AB будетъ

$$p_r = \sqrt{p_x^2 \cos^2 \overset{\wedge}{xn} + p_y^2 \sin^2 \overset{\wedge}{xn}} \quad \ldots . (4.)$$

Углы этаго напряженія $\overset{\wedge}{rx}$ относительно оси XX, и $\overset{\wedge}{nr}$ относительно нормальной ON суть

$$\sin \overset{\wedge}{rx} = \frac{p_y \sin \overset{\wedge}{nx}}{p_r}; \quad \cos \overset{\wedge}{rx} = \frac{p_x \cos \overset{\wedge}{nx}}{p_r};$$

$$\sin \overset{\wedge}{nr} = \sin \left(\overset{\wedge}{nx} - \overset{\wedge}{rx} \right) = \frac{p_x - p_y}{2 p_r} \sin 2 \overset{\wedge}{nx} \quad \ldots (5.)$$

Сопряженное съ p_r напряженіе дѣйствуетъ въ плоскости BC, которая составляетъ съ осью XX уголъ $\overset{\wedge}{rx}$, а нормальная ON' къ BC имѣетъ къ XX наклоненіе $\overset{\wedge}{n'x} = 90^0 - rx$, напряженіе въ плоскости BC будетъ имѣть единичную величину

$$p_t = \sqrt{p_x^2 \sin^2 \overset{\wedge}{rx} + p_y^2 \cos^2 \overset{\wedge}{rx}} = \frac{p_x p_y}{p_r} \ldots (6.)$$

а отклоненіе этаго напряженія отъ нормальной будетъ тоже что и p_r

$$\sin \overset{\wedge}{n't} = \frac{p_x - p_y}{2 p_t} \sin 2 \overset{\wedge}{n'x} = \frac{p_x - p_y}{2 p_r} \sin 2 \overset{\wedge}{nx}.$$

Уголъ $\overset{\wedge}{nr}$ получаетъ наибольшую величину φ когда

$$\operatorname{tang} \overset{\wedge}{nx} = \sqrt{\frac{p_x}{p_y}} \quad \ldots (7.)$$

тогда $\sin \varphi = \frac{p_x - p_y}{p_x + p_y}$; $\cos \varphi = \frac{2\sqrt{p_x p_y}}{p_x + p_y}$; $\overset{\wedge}{nx} = 45^0 + \frac{1}{2} \varphi$.

соотвѣтствующія этимъ угламъ сопряженныя напряженія равны между собою

$$p = \sqrt{p_x p_y} \quad \ldots (8.)$$

Между единичными величинами напряженій и углами ихъ отклоненія отъ нормальныхъ существуютъ слѣдующія отношенія

$$\left.\begin{aligned}
p_r &= p\,\frac{\cos\overset{\wedge}{nr} + \sqrt{\cos^2\overset{\wedge}{nr} - \cos^2\varphi}}{\cos\varphi}\\
p_t &= p\,\frac{\cos\overset{\wedge}{nr} - \sqrt{\cos^2\overset{\wedge}{nr} - \cos^2\varphi}}{\cos\varphi}\\
\frac{p_r}{p_t} &= \frac{\cos\overset{\wedge}{nr} + \sqrt{\cos^2\overset{\wedge}{nr} - \cos^2\varphi}}{\cos nr - \sqrt{\cos^2\overset{\wedge}{nr} - \cos^2\varphi}}\\
p_x &= \frac{p(1+\sin\varphi)}{\cos\varphi} = \frac{p_r(1+\sin\varphi)}{\cos\overset{\wedge}{nr} + \sqrt{\cos^2\overset{\wedge}{nr} - \cos^2\varphi}};\\
p_y &= \frac{p(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi} = \frac{p_t(1-\sin\varphi)}{\cos\overset{\wedge}{nr} - \sqrt{\cos^2\overset{\wedge}{nr} - \cos^2\varphi}};
\end{aligned}\right\} \quad (9.)$$

$$\frac{p_y}{p_x} = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$$

Когда главныя напряженія равны, то при всякомъ направленіи плоскости дѣйствія напряженіе остается одно и тоже и перпендикулярно къ плоскости дѣйствія или

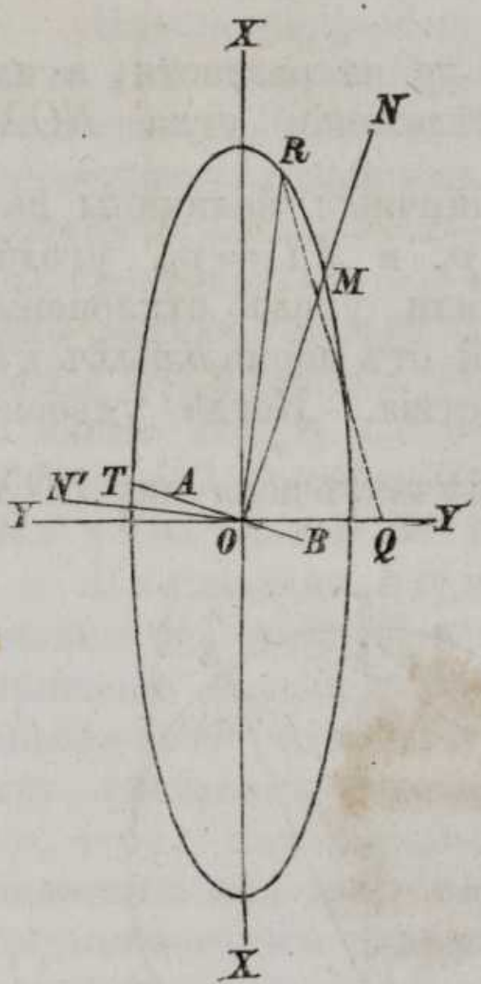
$$p = p_r = p_t = p_y = p_x; \quad \overset{\wedge}{nr} = 0.$$

Геометрически отношенія между единичными величинами напряженій и ихъ направленія могутъ быть выражены двумя способами.

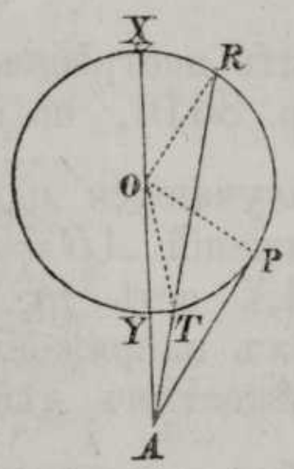
Посредствомъ элипса напряженій. На единичныхъ величинахъ главныхъ напряженій p_x и p_y строится элипсъ, по данной нормальной откладываютъ OM (чер. 86 А) равное ихъ полусуммѣ; изъ точки M радіусомъ MO описываютъ кругъ, который пересѣчетъ ось YY въ точкѣ Q; прямая MQ встрѣчаетъ элипсъ въ точкѣ R, на разстояніе MR равномъ полуразности напряженій. OR есть единичная величина и направленіе напряженія p_r въ плоскости AB, а OT

есть величина и направленіе сопряженнаго ему напряженія p_t.

Посредствомъ круга. По прямой AX (чер. 86 B) откладываютъ главныя напряженія $AX = p_x$ и $AY = p_y$; на XY описываютъ окружность и откладываютъ уголъ $XOR = 2\hat{n}x$; $AR = p_r$, $AT = p_t$, уголъ RAX есть уголъ отклоненія $\overset{\wedge}{nr}$ а уголъ TOX есть $2\hat{n}x$ или вдвое болѣе угла составляемаго нормальною ко второй плоскости дѣйствія съ осью X. Наибольшая величина φ угла отклоненія напряженія равна углу касательной AP съ линіею AX, AP есть величина однаго изъ равныхъ сопряженныхъ напряженій.



Чер. 86 A.



Чер. 86B.

При равенствѣ напряженій, элипсъ чертежа 86 A обращается въ кругъ, а кругъ чертежа 86 B въ точку.

2й *Случай.* Въ тѣлѣ дѣйствуютъ главныя напряженія p_x и p_y разнородныя: одно распоръ, другое натянутость: во всѣхъ формулахъ p_y должно считать отрицательнымъ, p_t будетъ тоже отрицательнымъ; уголъ $\overset{\wedge}{rx}$ отрицательный, считается въ сторону противную $\overset{\wedge}{nx}$, уголъ $\overset{\wedge}{nr}$ всегда болѣе $\overset{\wedge}{nx}$. Хотя этотъ уголъ не имѣетъ наибольшей величины, но можетъ быть что сопряженныя напряженія сдѣлаются равны, т. е.

$$p_r = -p_t = p = \sqrt{p_x \cdot - p_y}$$

при этомъ

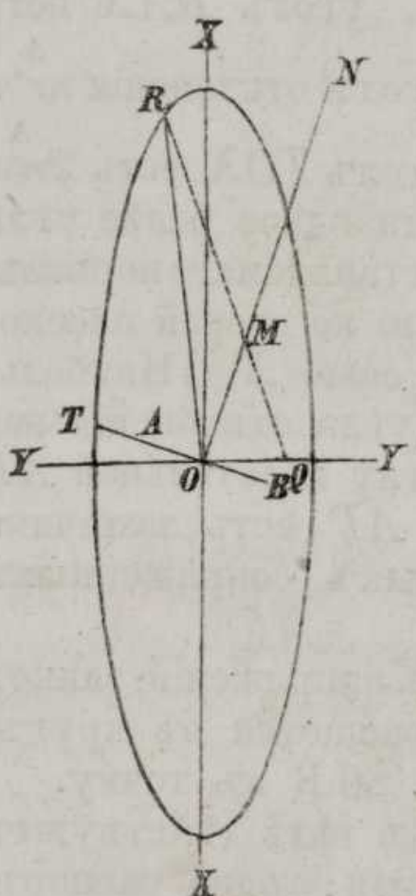
$$\varphi = 90^0, \sin \overset{\wedge}{nx} = \sqrt{\frac{p_x}{p_x + p_y}} \quad \ldots (10.)$$

напряженія будутъ сдвигающими.

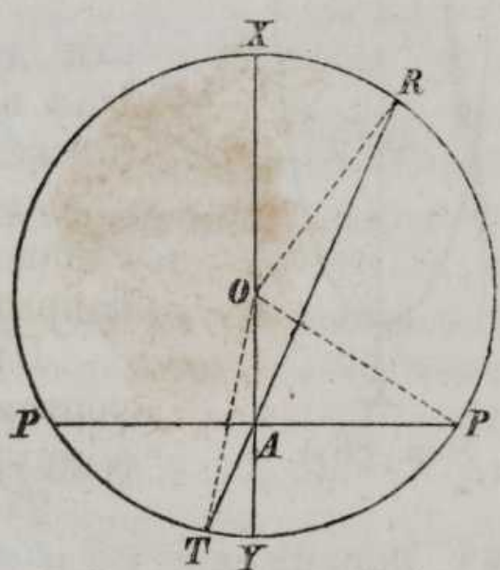
При геометрическомъ построеніи помощью элипса

(чер. 86 C) надобно отложить по нормальной полуразность напряженій OM, прямую MQ продолжить до встрѣчи съ элипсомъ по другую сторону оси XX, OR будетъ единичная величина и направленіе однаго, а OT другаго напряженія.

Кругъ долженъ быть построенъ не на разности, а на суммѣ напряженій (чер. 86 D), по отложеніи угла ROX вдвое большаго $\overset{\wedge}{nx}$, получаются единичныя величины напряженій $AR = p_r$ и $AT = p_t$, уголъ RAX есть nr или уголъ отклоненія этихъ напряженій отъ нормальныхъ къ плоскостямъ дѣйствія. Когда удвоенный уголъ $\overset{\wedge}{nx}$ получаетъ величину POX



Чер. 86 C.



Чер. 86 D.

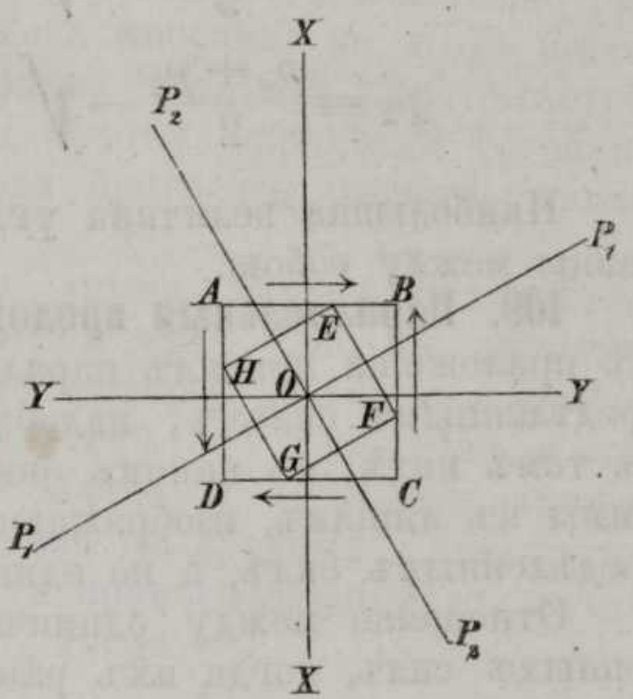
огда напряженія становятся сдвигающими и имѣютъ равныя величины.

При равенствѣ главныхъ напряженій p_x и p_y, сопряженныя напряженія будутъ равны между собою и равны главнымъ при всѣхъ положеніяхъ плоскостей дѣйствія, въ сдвигающія же напряженія они обращаются, когда плоскости дѣйствія становятся подъ угломъ въ 45^0 къ первоначальнымъ плоскостямъ.

IV. *Отклоненіе главныхъ напряженій сдвиганіемъ.* Пусть p_x и p_y суть единичныя величины двухъ главныхъ напряженій дѣйствующихъ на частицу $ABCD$ (чер. 87) квадратнаго сѣченія: численная величина p_x больше нежели p_y, первое напряженіе принимается положительнымъ, второе

можетъ быть положительное или отрицательное. Кромѣ этихъ главныхъ напряженій есть еще сдвигающее усиліе величиною q: оно измѣняетъ какъ единичныя величины, такъ и направленія главныхъ напряженій.

Новыя напряженія будутъ дѣйствовать параллельно линіямъ P_1OP_1 и P_2OP_2 перпендикулярнымъ къ плоскостямъ EF и FG, которыя составляютъ съ AB и BC равные между собою углы θ; назовемъ буквою a части BE и CF граней AB и BC, буквою b части BF и CG граней BC и CD.



Чер. 87.

На площади BE параллельно OX дѣйствуетъ напряженіе $a.p_x$, а въ плоскости BF сдвиганіе $b.q$, что составитъ напряженіе ap_x+bq; параллельно OY дѣйствуетъ на площади BE сдвиганіе aq, и на площади BF распоръ или натянутость bp_y, вмѣстѣ же напряженіе bp_y+aq; два эти напряженія ap_x+bq и bp_y+aq соединяются въ одно напряженія на площади EF равной $\sqrt{a^2+b^2}$; единичная величина этаго напряженія будетъ

$$p_1=\sqrt{\frac{(ap_x+bq)^2+(bp_y+aq)^2}{a^2+b^2}} \quad (11.)$$

Также точно найдется, что единичная величина напряженія въ плоскости FG есть

$$p_2=\sqrt{\frac{bp_x-aq)^2+(ap_y-bq)^2}{a^2+b^2}} \quad (12.)$$

Чтобы эти напряженія были прямыя или перпендикулярныя къ плоскостямъ дѣйствія, они должны составлять съ осями OX и OY углы θ или надобно имѣть, что

$$\operatorname{tang}\theta=\frac{a}{b}=\frac{ap_x+bq}{bp_y+aq}=\frac{ap_y-bq}{bp_x-aq} \quad \ldots \quad (13.)$$

откуда получимъ

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tang} 2\theta &= \frac{2q}{p_x - p_y}. \\ p_1 &= \frac{p_x + p_y}{2} + \sqrt{\frac{(p_x + p_y)^4}{4} + q^2}; \\ p_2 &= \frac{p_x + p_y}{2} - \sqrt{\frac{(p_x + p_y)^2}{4} + q^2} \end{aligned}\right\} \quad (14.)$$

Наибольшая величина угла θ есть 45^0, когда p_x и p_y равны между собою.

109. Параллельныя проложенія разпредѣленныхъ силъ. Въ приложеніи правилъ параллельныхъ проложеній къ разпредѣленнымъ силамъ, надобно помнить, что правила эти въ томъ видѣ, въ какомъ они выражены въ § 101 приложимы къ линіямъ, изображающимъ равнодѣйствующія разпредѣленныхъ силъ, а не единичныя ихъ величины.

Отношеніе между единичными величинами разпредѣленныхъ силъ, когда ихъ равнодѣйствующія найдены посредствомъ параллельныхъ проложеній, получаются раздѣленіемъ каждой проложенной силы на величину проложенной плоскости, въ которой она дѣйствуетъ.

110. Треніе есть сила, проявляющаяся между двумя тѣлами на ихъ поверхности касанія и сопротивляющаяся ихъ движенію однаго по другому; оно находится въ зависимости отъ силы, которая прижимаетъ тѣла другъ къ другу: это родъ сдвигающаго напряженія.

Изъ опытовъ выведенъ слѣдующій законъ тренія: *треніе двухъ тѣлъ однаго объ другое при данномъ состояніи ихъ поверхностей пропорціонально той силѣ, которая ихъ прижимаетъ одно къ другому.*

Если тѣло подвергается дѣйствію силы, которая стремится заставить его скользить по другому тѣлу и которой величина менѣе предѣла, даннаго этимъ закономъ, то треніе равно и противоположно этой силѣ и уравновѣшиваетъ ее.

Законъ этотъ вѣренъ однакожъ только до тѣхъ поръ, пока прижимающее усиліе не раздавливаетъ частицъ тѣлъ, прилежащихъ поверхности касанія; когда давленіе превосходитъ этотъ предѣлъ, тогда треніе значительнѣе; но въ строеніяхъ давленіе никогда не доходитъ до такой величины и потому законъ тренія будетъ примѣняться къ нимъ въ томъ видѣ, въ какомъ онъ здѣсь приведенъ.

Нѣкоторыя вещества легко сжимаются на поверхности даже при слабомъ давленіи, таково дерево; треніе между двумя такими веществами, если они были нѣкоторое время въ прикосновеніи другъ къ другу, бываетъ нѣсколько болѣе, нежели между движущимися массами: но этотъ избытокъ *тренія покоя* надъ *треніемъ движенія* уничтожается при малѣйшимъ потрясеніи, и потому, опредѣляя устойчивость строенія, надобно всегда брать въ расчетъ треніе движенія, а не покоя.

Величина тренія между двумя тѣлами получается умноженіемъ силы, прижимающей тѣла одно къ другому на нѣкоторое отвлеченное число, которое называется *коефициентомъ тренія* и которое зависитъ отъ рода тѣлъ и отъ состоянія ихъ поверхностей. Пусть F означаетъ треніе, N силу прижимающую одно тѣло къ другому и дѣйствующую нормально къ поверхности прикосновенія тѣлъ; пусть наконецъ f коефицентъ тренія, тогда

$$F = fN \quad \ldots\ldots \quad (1.)$$

Коефицентъ тренія есть тангенсъ *угла покоя*, т. е. наибольшаго угла, который можетъ составлять наклонное давленіе съ нормальною къ поверхности касанія, не сдвигая однаго тѣла съ другаго.

Уголъ покоя есть наибольшій уголъ наклоненія къ горизонту плоскости, по которой какая нибудь масса, подверженная только дѣйствію тяжести не будетъ скользить, а остается въ покоѣ.

Пусть P давленіе, котораго *уголъ отклоненія*, т. е. уголъ между линіею его дѣйствія и нормальною къ поверхности касанія, равенъ углу покоя φ, тогда

$$\mathrm{F} = f\mathrm{N} = \mathrm{N}\,\mathrm{tang}\,\varphi = \mathrm{P}\sin\varphi = \frac{f\mathrm{P}}{\sqrt{1+f^2}} \quad \ldots\ldots \quad (2.)$$

Величина тренія на единицѣ площади имѣетъ тоже отношеніе къ величинѣ давленія на единицу, какъ все треніе ко всему давленію.

Вотъ таблица угловъ покоя φ, косфицентовъ тренія $f = tang\,\varphi$ и обратныхъ величинъ $1:f$ для разныхъ веществъ, она извлечена изъ таблицъ Морена и другихъ источниковъ; всѣ находящіяся въ ней цифры относятся къ тренію движенія.

Поверхности.	Уголъ пок. φ	Коефицентъ тренія f	Обратная величина $1:f$
Сухая каменная кладка и кирпичь	$31^0 - 35^0$	0·6 — 0·7	1·67 — 1·43
Каменная кладка и кирпичь на сыромъ растворѣ	$25^1/_2{}^0$	0·47	2·1
Каменная кладка и кирпичь на мокромъ растворѣ	$36^1/_2{}^0$	0·74	1·35
Дерево по камню	22^0	0·4	2·5
Желѣво по камню	$35^0 - 16^2/_3{}^0$	0·7 — 0·3	1·43 — 3 33
Камень по сухой глинѣ	27^0	0·51	1·96
Камень по мокрой глинѣ	$18^1/_4{}^0$	0·33	3
Земля по землѣ	$14^0 - 45^0$	0·25 — 1 0	4 — 1
Земля по сухому песку, глинѣ, смѣшаной землѣ	$21^0 - 37^0$	0·38 — 0·75	2·63 — 1·33
Земля по сырой глинѣ	45^0	1·0	1
Земля по мокрой глинѣ	17^0	0·31	3·23
Земля по гравію	$35^0 - 48^0$	0·7 — 1·11	1·43 — 0·9
Дерево по сухому дереву	$14^0 - 26^1/_2{}^0$	0·25 — 0 5	4 — 2
Дерево по намыленному дереву	$11^1/_2{}^0 - 2^0$	0·2 — 0·04	5 — 25
Металлы по сухому дубу	$26^1/_2{}^0 - 31^0$	0·5 — 0·6	2 — 1·67
Металлы по мокрому дубу	$13^1/_2{}^0 - 14^1/_2{}^0$	0 24 — 0·26	4·17 — 3·85
Металлы по намыленному дубу	$11^1/_2{}^0$	0·2	5
Металлъ по сухому металлу	$11^1/_2{}^0 - 14^0$	0·2 — 0·25	5 — 4
Бронза по бакауту	3^0 ?	0·05 ?	20 ?
Сухая пенька по дубу	28^0	0·53	1·89
Мокрая пенька по дубу	$18^1/_2{}^0$	0·33	3
Кожа по дубу	$15^0 - 19^1/_2{}^0$	0·27 — 0·38	3·7 — 2·86
Сухая кожа по металламъ	$29^1/_2{}^0$	0·56	1·79
Мокрая кожа по металламъ	20^0	0·36	2·78
Жирная кожа по металламъ	13^0	0·23	4·35
Масляная кожа по металламъ	$8^1/_2{}^0$	0·15	6·67
Металлъ по сухому металлу	$8^1/_2{}^0 - 11^1/_2{}^0$	0.15 — 0·2	6·67 — 5
Металлъ по мокрому и чистому металлу	$16^1/_2{}^0$	0·3	3·33
Металлъ по сырому и грязному металлу	8^0	0·14	7·14
Полированныя поверхности иногда смазываемыя	$4^0 - 4^1/_2{}^0$	0·07 — 0·08	14·3 — 12·5
Полированныя поверхности постоянно смазываемыя	3^0	0·05	20
Наилучшемъ образомъ полированныя и смазываемыя	$1^3/_4{}^0 - 2^0$	0·03 — 0·036	33·3 — 27 6

ОТДѢЛЪ VI. РАВНОВѢСІЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ФЕРМЪ, ЦѢПЕЙ И ДУГЪ.

111. Ферма (frame), ребро или связь состоитъ изъ брусьевъ, прутьевъ или веревокъ, соединенныхъ между собою такими вязками, какія употребляются при деревѣ, металлахъ, веревкахъ и цѣпяхъ; онѣ не представляютъ вовсе или очень мало сопротивленія перемѣнѣ во взаимномъ наклоненіи связываемыхъ ими частей. Въ такой вязкѣ *центромъ сопротивленія* называется точка, чрезъ которую проходитъ равнодѣйствующая силъ, сопротивляющихся перемѣщенію свя-

занныхъ частей; она находится по срединѣ или близь средины вязки и не можетъ быть перемѣщена безъ нарушенія благонадежности вязки.

Линія сопротивленія фермы проходитъ чрезъ центры сопротивленія вязокъ; это многоугольникъ, котораго вершины находятся въ центрахъ вязокъ.

112. Отдѣльный брусъ можетъ быть струною, распоркой или балкой.

I. На обоихъ концахъ *струны* (tie), тяжа или затяжки дѣйствуютъ двѣ равныя, противоположныя силы, направленныя внаружу или одна отъ другой; брусъ подверженъ *вытягиванію*, напряженіе проявляющее внутри его между двумя какими нибудь его частицами есть *натянутость*. Такой брусъ можетъ быть замѣненъ веревкою или цѣпью.

Равновѣсіе подвижной струны устойчиво; если наклоненіе ея измѣнится, то дѣйствующія по концамъ ея силы, которыя равны и противоположны, образуютъ пару, возстановляющую струну въ прежнемъ ея положеніи.

II. *Распорка* (strut) или подпорка подвержена дѣйствію двухъ равныхъ, другъ другу противоположныхъ силъ, направленныхъ внутрь или одна къ другой; внутреннее напряженіе въ ней есть *распоръ;* распорка не можетъ быть замѣнена гибкимъ тѣломъ.

Равновѣсіе подвижной распорки не устойчиво; если наклоненіе ея измѣнится, то силы дѣйствующія по концамъ, образуютъ пару, которая будетъ еще болѣе отклонять распорку отъ первоначальнаго ея положенія. Для того чтобы распорка была устойчива, надобно предохранить концы ея отъ боковаго движенія посредствомъ *подкосовъ* (stays).

III. *Балка* (beam) есть брусъ, поддержанный въ двухъ точкахъ и нагруженный въ направленіи перпендикулярномъ или наклонномъ къ его длинѣ.

1й Случай. Поддерживающія усилія параллельны какъ между собою, такъ и линіи дѣйствія груза, который помѣщенъ между поддержками какъ на чер. 88. P есть равнодѣйствующая полнаго груза со включеніемъ вѣса балки; L точка, въ которой линія дѣйствія этаго груза пересѣкаетъ ось балки; R_1, R_2 поддерживающія усилія или сопротивленія опоръ, параллельныя P, находящіяся въ одной плоскости съ грузомъ P и приложенныя въ точкахъ S_1 и S_2 на оси балки.

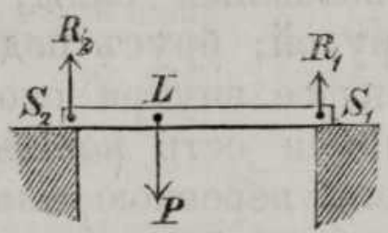
По закону рычага, § 97, каждая изъ этихъ трехъ

силъ пропорціональна разстоянію между линіями дѣйствія двухъ другихъ; а грузъ равенъ суммѣ поддерживающихъ усилій

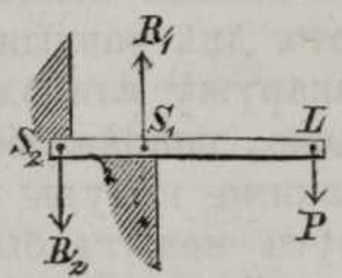
$$P : R_1 : R_2 :: \overline{S_1 S_2} : \overline{L S_2} : \overline{L S_1} \ldots\ldots (1.)$$

$$P = R_1 + R_2 \ldots\ldots (2.)$$

2й *Случай.* Грузъ P находится внѣ точекъ опоры S_1 и S_2 какъ въ чер. 89: это выступающая балка, под-



Чер. 88.



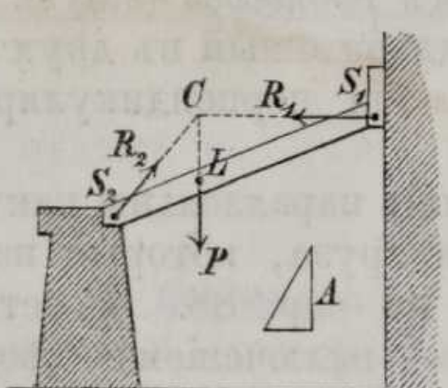
Чер. 89.

держанная стѣною или иною опорою въ точкѣ S_1 и укрѣпленная въ гнѣздѣ каменной кладки или иначе у точки S_2, а P, равнодѣйствующая посторонняго груза и вѣса балки, приложена въ точкѣ L. Уравненіе (1.) имѣетъ мѣсто и теперь, но равнодѣйствующая равна разности поддерживающихъ усилій

$$P = R_1 - R_2$$

Въ этихъ примѣрахъ балка показана горизонтальною, но все объ ней сказанное примѣняется и къ наклонной балкѣ.

3й *Случай.* Направленіе поддерживающихъ усилій наклонно къ линіи дѣйствія равнодѣйствующей (чер. 90); три силы, тутъ дѣйствующія, должны быть въ равновѣсіи и потому изложенныя въ § 93 начала прилагаются къ этому случаю:



Чер. 90.

Линіи дѣйствія груза и поддерживающихъ усилій должны быть въ одной плоскости.

Линіи дѣйствія всѣхъ трехъ силъ должны пересѣкаться въ одной точкѣ.

Силы должны быть пропорціональны тремъ сторонамъ треугольника A, параллельнымъ направленіямъ силъ.

Задача. Даны: грузъ P по величинѣ и направленію, линія дѣйствія однаго изъ поддерживающихъ усилій R_1 и

центръ сопротивленія S_2 другаго усилія, нужно опредѣлить линію дѣйствія втораго усилія и величину поддерживающихъ усилій.

Надобно продолжить линію дѣйствія усилія R_1 до пересѣченія ея съ линіею дѣйствія груза P въ точкѣ C; соединить C и S_2 это будетъ линія дѣйствія усилія R_2. Потомъ надобно построить триугольникъ A, котораго стороны параллельны линіямъ дѣйствія силъ; отношеніе между длинами сторонъ триугольника тоже, какое есть между силами.

Если i_1 и i_2 углы линій дѣйствія поддерживающихъ усилій съ линіею дѣйствія груза, то

$$P : R_1 : R_2 :: \sin i_1 + i_2 : \sin i_2 : \sin i_1 \ldots\ldots (4.)$$

Въ фермѣ одинъ и тотже брусъ можетъ быть и балкой и струною, или балкой и распоркой; можетъ онъ также быть попеременно то струною, то распоркою, если дѣйствіе груза измѣняется.

Грузъ стремится разрушить струну разрывомъ, распорку раздробленіемъ, а балку переломомъ: объ способности матеріаловъ сопротивляться этимъ разрушеніямъ будетъ говориться въ послѣдствіи.

113. Разпредѣленные грузы. Чтобы примѣнить излагаемыя въ этомъ отдѣлѣ правила къ фермамъ, въ которыхъ дѣйствующія нагрузки, внѣшнія или собственный вѣсъ брусьевъ, разпредѣлены по ихъ длинѣ, надобно привести эти разпредѣленныя нагрузки къ одному или нѣсколькимъ равнодѣйствующимъ грузамъ, приложеннымъ въ центрахъ сопротивленія фермы. Вотъ ходъ, которому надобно при этомъ слѣдовать:

I. Найти равнодѣйствующую нагрузки для каждаго отдѣльнаго бруса.

II. Разложить эту равнодѣйствующую по ур. (1.) § 112 на двѣ параллельныя составляющія, приложенныя въ центрахъ сопротивленія у обоихъ концовъ бруса.

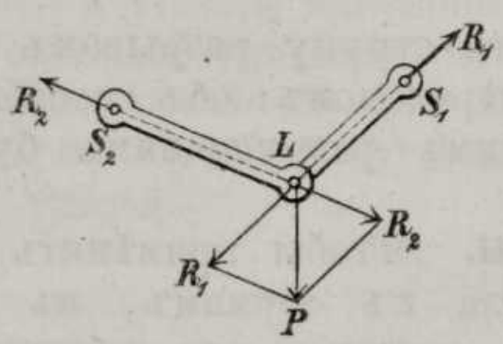
III. Въ каждомъ центрѣ сопротивленія, гдѣ встрѣчаются брусья, свести всѣ составляющія, принадлежащія отдѣльнымъ брусьямъ въ одну равнодѣйствующую, приложенную въ центрѣ сопротивленія.

IV. Когда какой нибудь центръ сопротивленія есть въ тоже время и точка опоры, тогда соотвѣтственная составляющая остается безъ разсмотрѣнія; но когда опредѣлено бу-

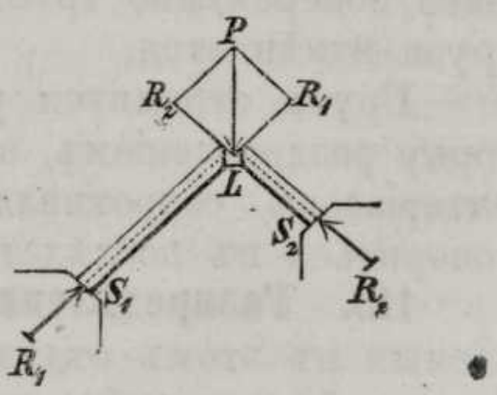
детъ поддерживающее усиліе въ этой точкѣ, требующееся для уравновѣшенія грузовъ, дѣйствующихъ въ другихъ точкахъ, тогда съ этимъ поддерживающимъ усиліемъ соединяется оставленная безъ разсмотрѣнія составляющая, и общая ихъ равнодѣйствующая будетъ выражать полное поддерживающее усиліе въ точкѣ опоры.

Въ слѣдующихъ параграфахъ этаго отдѣла будетъ предполагаться, что фермы нагружены въ тѣхъ только центрахъ сопротивленія, которые не составляютъ точекъ опоры; если же будутъ внѣшніе грузы и въ точкахъ опоры, то ихъ надобно будетъ присоединять къ тѣмъ усиліямъ, которые будутъ опредѣлены для этихъ точекъ и тогда будутъ получаться полныя поддерживающія усилія.

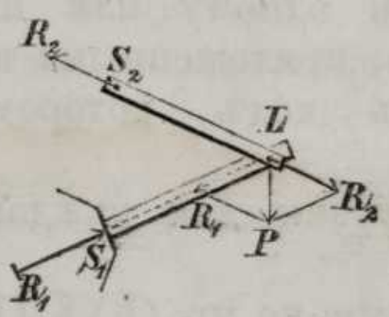
113. Ферма изъ двухъ брусьевъ. Примѣры фермъ, состоящихъ изъ двухъ брусьевъ, представляютъ чер. 91, 92 и 93; брусья связаны въ точкѣ L, гдѣ находится грузъ



Чер. 91.



Чер. 92.



Чер. 93.

P; они укрѣплены въ неподвижныхъ точкахъ S_1 и S_2 другими своими концами; требуется опредѣлить напряженіе каждаго бруса и поддерживающія усилія въ точкахъ S_1 и S_2.

Грузъ P надобно разложить по правилу § 94 на двѣ силѣ R_1 и R_2 по направленіямъ линій сопротивленія брусьевъ: это будутъ ихъ напряженія, а поддерживающія усилія въ точкахъ S_1 и S_2 будутъ имъ равны и прямо противоположны.

Чтобъ выразить это алгебрическими знаками положимъ, что i_1 и i_2 суть углы, составляемые линіями сопротивленія брусьевъ съ линіею дѣйствія груза P тогда

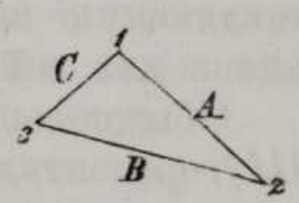
$$P : R_1 : R_2 = \sin i_1 + i_2 : \sin i_2 : \sin i_1$$

Смотря по направленію, въ какомъ дѣйствуютъ эти силы, отъ брусьевъ или къ нимъ, напряженія будутъ вытягивающія или сжимающія и самые брусья будутъ струнами или распорками. Чер. 91 представляетъ двѣ струны, а чер. 92 двѣ распорки, каковы напримѣръ стропильныя ноги, опирающіяся на стѣны; на чер. 93 представлены распорка LS_1 и струна LS_2, какъ бываетъ въ кранѣ.

Ферма изъ двухъ брусьевъ устойчива въ плоскости, проходящей чрезъ линіи сопротивленія. Относительно уклоненій въ бокъ отъ этой плоскости устойчива только ферма, состоящая изъ двухъ струнъ; струна и распорка составляютъ устойчивую ферму противъ отклоненій груза *отъ* линіи $S_1 S_2$ соединяющей точки опоры; ферма изъ струны и подпорки не устойчива при отклоненіяхъ груза къ линіи $S_1 S_2$; ферма изъ двухъ распорокъ или подпорокъ въ боковыхъ направленіяхъ не устойчива, если не укрѣплена подкосами.

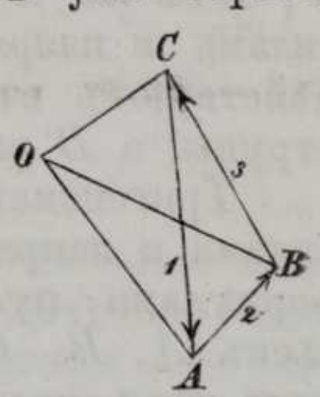
Эти законы справедливы для всякой пары брусьевъ, которые связаны одними концами, а другими уперты въ неподвижныя точки, будутъ ли они составлять самостоятельную ферму или часть другой болѣе сложной фермы.

115. Треугольныя фермы. Чер. 94 есть ферма изъ трехъ брусьевъ, связанныхъ въ точкахъ 1, 2, 3 т. е. C и A въ точкѣ 1, A и B въ точкѣ 2, B и C въ 3. Грузъ P_1 дѣйствуетъ въ точкѣ 1 по какому нибудь направленію; поддерживающія усилія P_2 и P_3 приложены въ точкахъ 2 и 3; линіи ихъ дѣйствія, заключаясь въ одной плоскости съ линіею дѣйствія груза P_1, или параллельны ей или пересѣкаются съ нею въ одной точкѣ: сначала будетъ разсмотрѣно второе расположеніе силъ, потомъ уже первое, какъ частный случай втораго.



Чер. 94.

Три силы, дѣйствующія въ точкахъ 1, 2, 3, уравновѣшиваютъ другъ друга и потому пропорціональны сторонамъ треугольника, построеннаго на линіяхъ параллельныхъ линіямъ дѣйствія силъ; чер. 95 представляетъ такой треугольникъ, въ которомъ сторона CA представляетъ грузъ P_1, AB поддерживающее усиліе P_2, а BC усиліе P_3. Про-

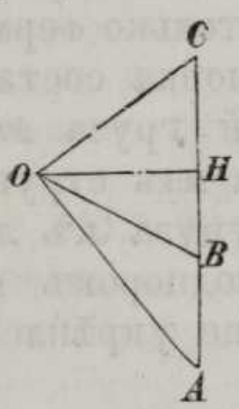


Чер. 95.

ведите CO параллельно брусу C, AO параллельно брусу A; двѣ эти линіи пересѣкаются въ точкѣ O, которую надобно соединить съ B, и линія OB будетъ параллельна брусу B.

Длины линій разходящихся изъ точки O представляютъ напряженія тѣхъ брусьевъ, которымъ онѣ параллельны.

Въ случаѣ параллелизма силъ триугольникъ чер. 95 обращается въ прямую линію CA (чер. 96), раздѣленную въ точкѣ B на двѣ части.



Чер. 96.

Если изъ O проведены къ A, B и C прямыя, параллельныя брусьямъ фермы, то длины этихъ прямыхъ представляютъ какъ и прежде напряженія тѣхъ брусьевъ, которымъ онѣ параллельны; а части прямой линіи CA представляютъ грузъ и поддерживающія усилія, а именно вся линія CA весь грузъ, дѣйствующій въ точкѣ 1 (чер. 94); AB поддерживающее усиліе въ точкѣ 2, BC усиліе въ точкѣ 3.

Если изъ точки O опустить перпендикуляръ OH на CA, общее направленіе силъ, то длина его будетъ представлять перпендикулярную къ линіи дѣйствія силъ составляющую напряженій брусьевъ: составляющая эта одинакова для всѣхъ брусьевъ.

Обыкновенно CA имѣетъ отвѣсное направленіе, тогда OH горизонтально и называется *горизонтальнымъ распоромъ* (horizontal thrust) фермы; напряженіе это въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ натянутостью.

Въ чер. 94, A и C суть подпорки, B струна; въ опрокинутой фермѣ т. е. когда точка 1 внизу, а грузъ въ ней P_1 тотъ же и тоже внизъ дѣйствуетъ, отношеніе между силами и напряженіями остается тоже самое, но послѣднія дѣйствуютъ въ противную сторону т. е. A и C будутъ струны, а B распоркой.

Тригонометрически отношенія между параллельными силами и напряженіями брусьевъ выражаются слѣдующими формулами: пусть a, b, c означаютъ углы наклоненія брусьевъ A, B, C къ линіи OH или пополненія до прямаго угла тѣхъ угловъ, которые эти брусья составляютъ съ линіею дѣйствія груза въ точкѣ 1 и поддерживающихъ усилій въ точкахъ 2 и 3.

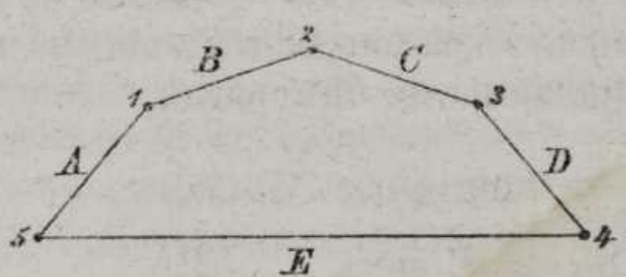
$$\text{Распоръ } H = \frac{P_1}{\operatorname{tang} c \pm \operatorname{tang} a} \quad \ldots\ldots (1.)$$

$$\text{Поддержив. усилія} \begin{cases} P_2 = H(\operatorname{tang} a \mp \operatorname{tang} b) = P_1 \dfrac{\operatorname{tang} a \mp \operatorname{tang} b}{\operatorname{tang} c \pm \operatorname{tang} a} \\ P_3 = H(\operatorname{tang} b \pm \operatorname{tang} c) = P_1 \dfrac{\operatorname{tang} b \pm \operatorname{tang} c}{\operatorname{tang} c \pm \operatorname{tang} a} \end{cases} (2.)$$

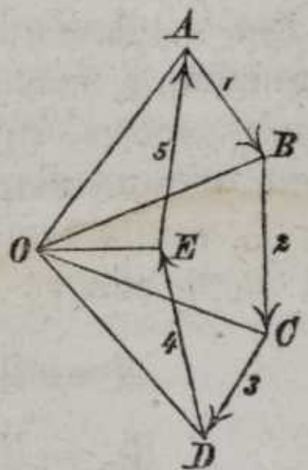
$$\text{Напряженія брусьевъ} \begin{cases} A = H \sec a = \dfrac{P_1 \sec a}{\operatorname{tang} c \pm \operatorname{tang} a} \\ B = H \sec b = \dfrac{P_1 \sec b}{\operatorname{tang} c \pm \operatorname{tang} a} \\ C = H \sec c = \dfrac{P_1 \sec c}{\operatorname{tang} c \pm \operatorname{tang} a} \end{cases} \ldots (3.)$$

Въ этихъ формулахъ тангенсы угловъ, находящихся по разныя стороны линіи OH, (чер. 96) соединяются сложеніемъ, а по одну сторону вычитаніемъ.

116. Многоугольная ферма. На чер. 97 прямыя A, B, C, D, E суть линіи сопротивленія брусьевъ, которыя связаны въ центрахъ сопротивленія 1. 2. 3. 4. и 5. Хотя на чертежѣ показано только пять брусьевъ, но выводимыя для этой фермы правила прилагаются къ фермѣ о всякомъ числѣ брусьевъ. Изъ точки O (чер. 98) проводятся линіи парал-



Чер. 97.

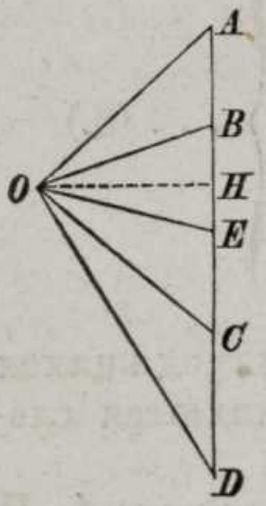


Чер. 98.

лельныя направленіямъ брусьевъ фермы и на нихъ откладываются длины, соотвѣтственныя напряженіямъ брусьевъ, которыя должны быть въ предѣлахъ крѣпкости матеріала: по соединеніи концовъ этихъ линій прямыми AB, BC, CD, DE, EA получатся грузы въ точкахъ 1, 2, 3, 4 и 5, которые будутъ другъ друга уровновѣшивать, каждая изъ

этихъ линій представляетъ силу, дѣйствующую въ точкѣ пересѣченія двухъ брусьевъ, которымъ параллельны прямыя, идущія отъ точки O къ концамъ этой линіи; такъ линія BC или 2 (чер. 98) есть сила дѣйствующая въ точкѣ 2 (чер. 97) гдѣ пересѣкаются брусья B и C, параллельные линіямъ OB и OC діаграммы.

Въ случаѣ параллельныхъ силъ многугольникъ $ABCDE$ обращается въ прямую AD (чер. 99), которой части представляютъ дѣйствующія силы; на пр. DE есть сила дѣйствующая въ точкѣ 4 (чер. 97) гдѣ сходятся брусья D и E. Всякая часть этой прямой представляетъ сумму силъ, дѣйствующихъ между брусьями которымъ параллельны примыкающія къ ней и расходящіяся изъ точки O линіи: такъ AC есть сумма грузовъ, дѣйствующихъ между брусьями A и C или въ точкахъ 1 и 2, AD сумма грузовъ между A и D или въ точкахъ 1, 2, 3; DA представляетъ поддерживающія усилія между D и A или въ точкахъ 4 и 5.



Чер. 99.

Линія OH, проведенная изъ O перпендикулярно къ AD, есть величина горизонтальной составляющей или *распора*, который во всѣхъ точкахъ фермы одинаковъ; распоръ этотъ названъ горизонтальнымъ, потому что грузы предполагаются дѣйствующими въ отвѣсныхъ направленіяхъ.

Для выраженія посредствомъ формулъ разныхъ силъ и напряженій назовемъ распоръ OH буквою H; углы наклоненія двухъ брусьевъ, примыкающихъ одинъ къ другому или непримикающихъ, къ линіи OH буквами i_1 и i_2; R_1 и R_2 напряженія брусьевъ; P равнодѣйствующую внѣшнихъ силъ между разсматриваемыми брусьями.

$$P = H\,(\operatorname{tang} i_1 \pm \operatorname{tang} i_2) \ldots\ldots (1.)$$

$$R_1 = H \sec i_1 \; ; R_2 = H \sec i_2 \ldots (2.)$$

Сумма тангенсовъ въ формулѣ (1.) берется когда углы i_1 и i_2 находятся съ разныхъ сторонъ линіи OH, а разность, когда оба они по одну сторону.

117. Открытая многоугольная ферма. Когда ферма не сомкнута, а открыта то есть, когда въ фермѣ чертежа 97 не достаетъ однаго изъ брусьевъ напримѣръ E, тогда въ діаграммѣ силъ (чер. 98) нѣтъ линій OE, DE и EA, а въ

діаграммѣ чертежа 99го нѣтъ линіи OE; многоугольникъ силъ смыскается тогда линіями DO и OA, которыя представляютъ какъ напряженія крайнихъ брусьевъ фермы, такъ и противоположныя имъ поддерживающія усилія, которыя должны быть приложены въ точкахъ 4 и 5 для того чтобы удерживать въ равновѣсіи силы, дѣйствующія въ остальныхъ точкахъ; точки эти 4 и 5 называются *опорными точками* или *устоями* (abutments) фермы.

При параллельныхъ силахъ, слѣдующія формулы даютъ горизонтальный распоръ H и поддерживающія усилія R_d и R_a въ точкахъ D и A

$$H = \frac{\Sigma \cdot P}{\operatorname{tang} i_d + \operatorname{tang} i_a} \quad \ldots\ldots (1.)$$

$$R_d = H \sec i_d;\ R_a = H \sec i_a \quad \ldots\ldots\ldots (2.)$$

здѣсь i_d и i_a суть углы, составляемые брусьями D и A съ перпендикуляромъ OH къ направленію параллельныхъ силъ, а ΣP сумму силъ, дѣйствующихъ въ точкахъ 1, 2 и 3.

118. Устойчивость многоугольныхъ фермъ. Въ § 112 сказано было, что если наклоненіе бруса можетъ измѣняться и онъ составляетъ струну, то онъ устойчивъ, въ противномъ случаѣ или когда онъ служитъ распоркой, то не устойчивъ; устойчивость же ему дается укрѣпленіемъ его концовъ.

Напримѣръ въ фермѣ чер. 97, E есть струна и потому устойчива; A, B, C, D распорки и не устойчивы, потому что угловыя ихъ положенія могутъ измѣняться. Ихъ можно сдѣлать устойчивыми въ плоскости фермы посредствомъ раскосовъ, идущихъ одинъ отъ точки 1 къ 4 и отъ 3 къ 5, тогда точки 1, 3, аслѣдовательно и 2 будутъ укрѣплены; того же можно достигнутъ раскосами идущими отъ точки 2 къ 4 и 5. — Все же ферма неустойчива, потому что можетъ быть опрокинута въ сторону, если не будетъ раскосовъ, удерживающихъ точки 1 и 3 или точку 2 отъ движенія въ бокъ, или въ направленіи перпендикулярномъ къ плоскости фермы.

Представимъ себѣ теперь, что ферма опрокинута, грузы въ точкахъ 1, 2, 3 остаются тѣже, поддерживающія усилія въ 4 и 5 будутъ тѣже самыя; E есть распорка, но устойчивая, потому что концы ея укрѣплены; A, B, C, D стяновятся струнами и слѣдовательно устойчивы безъ подкосовъ.

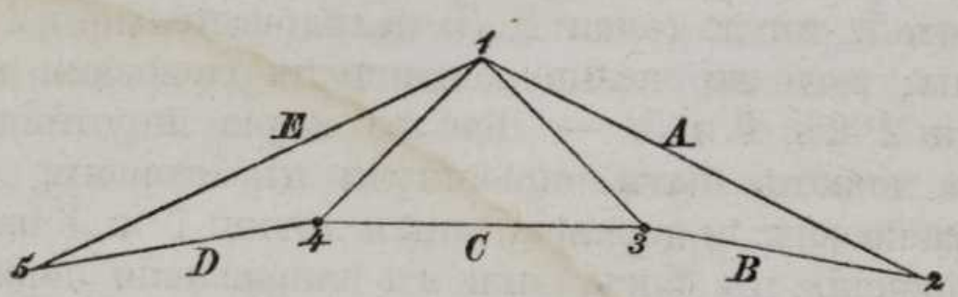
Но надобно замѣтить, что такая система допускаетъ *качанія* т. е. каждая точка можетъ колебаться въ ту или другую сторону относительно точки равновѣсія; если такія колебанія вредны для строенія, то надобно ихъ уничтожить употребленіемъ боковыхъ подкосовъ.

Многоугольникъ изъ однихъ струнъ A, B C, D называется *веревочнымъ многоугольникомъ* (funicular polygon),

119. Раскошенныя фермы (braced frames). Когда внѣшнія силы, приложенныя къ фермѣ, хотя взаимно уравновѣшиваются, но расположены не совмѣстно съ равновѣсіемъ каждаго отдѣльнаго бруса, тогда при составленіи діаграммы силъ, въ многоугольникѣ, который представляютъ эти силы и котораго вершины находятся на расходящихся линіяхъ, останутся пробѣлы т. е. онъ не будетъ сомкнутъ. Чтобы сомкнуть многоугольникъ нужно будетъ прибавить нѣсколько линій, которыя будутъ изображать сопротивленія раскосовъ: это будутъ струны или распорки, замѣняющія своимъ сопротивленіемъ въ вязкахъ тѣ силы, которыхъ недоставало каждому брусу для равновѣсія.

Сопротивленіе раскоса вводитъ въ систему силъ двѣ новыя силы равныя и противоположныя, дѣйствующія въ вязкахъ по линіи сопротивленія раскоса: общая *равнодѣйствующая* силъ отъ этаго неизмѣняется ни въ величинѣ, ни въ направленіи, а измѣняется только *распредѣленіе силъ*.

Чтобы показать примѣръ употребленія раскосовъ и способъ опредѣлять ихъ напряженія, возьмемъ ферму употребляемую иногда въ стропилахъ и представленную на чер. 100; она состоитъ изъ пяти брусьевъ: двухъ ногъ

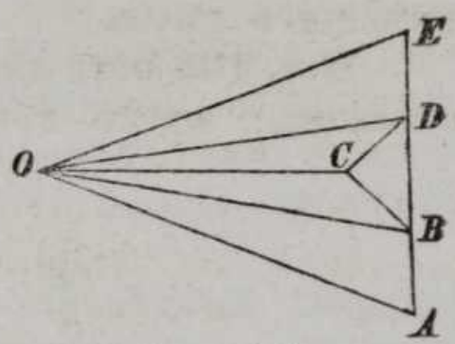


Чер. 100.

(rafters) A и E, и трехъ струнъ B, C, D связанныхъ въ точкахъ 1, 2, 3, 4, 5; грузъ находится въ точкѣ 1, а поддержана она сопротивленіемъ стѣнъ, въ которыя опираются точки 2 и 5. Въ вязкахъ 3 и 4 нѣтъ грузовъ и онѣ соединены съ точкой 1 раскосами или вѣрнѣе затяжками

1—4 и 1—3: надобно найти напряженія какъ этихъ затяжекъ, такъ и остальныхъ брусьевъ фермы.

Для составленія діаграммы силъ чер. 101, надобно провести чрезъ точку O линіи OE, OD, OC, OB и OA параллельно брусьямъ составляющимъ обводъ фермы, и отвѣстую линію AE, пересѣкающую эти расходящіяся линіи; она представляетъ направленіе груза и поддерживающихъ усилій.



Чер. 101.

Крайніе ея отрѣзки AB и DE должны означать поддерживающія усилія въ точкахъ 2 и 5, а ихъ сумма $AB + DE$ *дѣйствительный* грузъ въ точкѣ 1. EA означаетъ то, чѣмъ *долженъ быть* грузъ въ точкѣ 1 для того, чтобъ условія равновѣсія брусьевъ A и E были исполнены, и слѣдовательно BD представляетъ *недостатокъ* дѣйствительнаго груза въ точкѣ 1 или придаточную отвѣсную силу, дѣйствующую внизъ: она то и должна быть замѣнена раскашиваніемъ. BD противоположное и равное DB представляетъ равнодѣйствующую недостатка поддерживающихъ усилій въ точкахъ *3* и *4*, въ которыхъ нѣтъ дѣйствительныхъ грузовъ.

Въ діаграммѣ силъ надобно провести DC параллельно затяжкѣ 1—4, и CB параллельно 1—3, прямыя эти пересѣкаютъ линію OC въ точкѣ C.

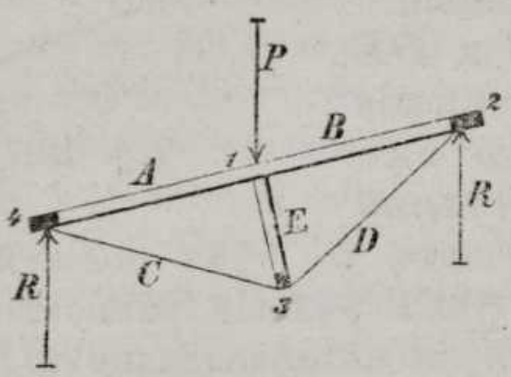
Первая изъ этихъ линій будетъ представлять натянутость дѣйствующую наклонно вдоль раскоса 1—4 вверхъ въ точкѣ 4 и внизъ въ точкѣ 1; вторая линія CB изображаетъ напряженіе вдоль раскоса 1—3, дѣйствующее наклонно вверхъ въ точкѣ 3 и наклонно внизъ въ точкѣ 1. Равнодѣйствующая этихъ двухъ силъ, приложенныхъ въ точкѣ 1 есть DB, отвѣсная сила, дѣйствующая внизъ и равная указанному прежде недостатку; а наклонныя дѣйствующія вверхъ силы въ точкахъ 3 и 4 дополняютъ многоугольникъ силъ $ABCDEA$, котораго вершины находятся на расходящихся линіяхъ параллельныхъ брусьямъ фермы и выполняющихъ условія § 116.

Напряженія наружныхъ брусьевъ фермы представлены какъ и всегда длинами расходящихся изъ точки O линій.

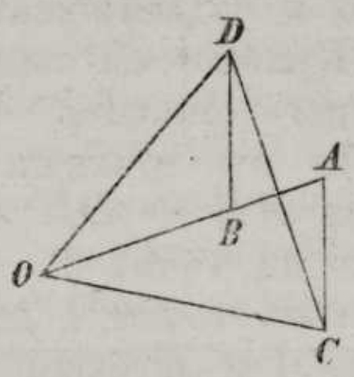
Другой простой примѣръ употребленія раскосовъ данъ на чер. 102: A и B двѣ распорки составляющія одинъ прямой брусъ; C и D двѣ одинакой длины струны; E есть

раскосъ, служащій распоркой. Отвѣсный грузъ P дѣйствуетъ въ точкѣ 1, между A и B; два отвѣсныя поддерживающія усилія R, каждое двое меньше нежели P, приложены въ точкахъ 2 и 4 снизу вверхъ; въ точкѣ 3 нѣтъ внѣшняго груза.

Чер. 103 есть діаграмма силъ, построенная слѣдующимъ образомъ: чрезъ точку O надобно провести OBA парал-



Чер. 102.



Чер. 103.

лельно A и B, OC параллельно C и OD параллельно D; отложить $OD = OC$; соединить D и C, линія эта будетъ параллельна распоркѣ или стрѣлѣ E и перпендикулярна OA.

Отвѣсныя линіи DB и CA, проведенныя чрезъ точки D и C и равныя между собою, принимаются за поддерживающія усилія R; сумма ихъ $DB + AC$ есть грузъ P; натянутости струнъ D и C представлены длиною прямыхъ линій OD и OC, а сжиманія вдоль распорокъ A, B, E длинами линій OA, OB и CD.

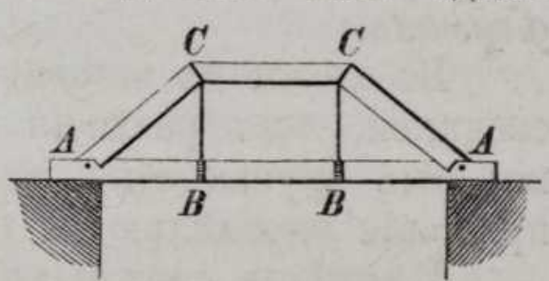
Многоугольникъ внѣшнихъ силъ имѣетъ въ этомъ случаѣ форму перекрещивающагося четыреугольника $ACDB$, въ которомъ CA и BD представляютъ поддерживающія усилія, а DC и AB составляющія груза P перпендикудярную и параллельную распоркѣ E; когда A и B горизонтальны, E отвѣсно, тогда въ чертежѣ 103 точки A и B сливаются въ одну, а BD и CA будутъ составлять двѣ половины линіи CD.

120. Шпренгелемъ (truss) называется триугольная или многоугольная ферма, которой придается неизмѣнность посредствомъ раскосовъ или затяжекъ, которыя такъ располагаются, что фигура неможетъ измѣниться отъ вращенія брусьевъ около центровъ сопротивленія или въ вязкахъ.

Если бы вязки были вполнѣ такими, какъ онѣ описаны въ § 111, т. е. если бы онѣ, подобно шарнирамъ, не пред-

ставляли никакого сопротивленія перемѣнамъ въ угловомъ положеніи тѣхъ брусьевъ, которые они соединяютъ, тогда надобно было бы для неизмѣняемости фигуры раздѣлять всякую многоугольную форму посредствомъ раскосовъ или затяжекъ на треугольники или на такіе многоугольники, которыхъ каждая сторона, кромѣ двухъ, окружена была бы связанными между собою треугольниками. Всякій многоугольникъ о четырехъ и болѣе сторонахъ можетъ измѣнить свою форму, если всѣ углы, кромѣ однаго, не укрѣплены неподвижно.

Иногда впрочемъ полагаются на нѣкоторую твердость вязокъ или на сопротивленіе брусьевъ сгибанію, когда грузъ поддерживаемый фермою измѣняется очень мало и то только въ своемъ разпредѣленіи. Такъ напримѣръ въ шпренгелѣ чер. 104 струна или затяжка AA сдѣлана изъ однаго куска или нѣсколькихъ связанныхъ въ одно цѣлое брусьевъ; часть вѣса этой затяжки поддержана прутьями CB и CB. Эти прутья имѣютъ также назначеніе обратить сопротивленіе бруса CC сгибу въ сопротивленіе брусьевъ AC, CC и CA измѣненію угловаго ихъ положенія вращеніемъ около точекъ A, C, C, A. Если бы AB, BB и BA были три отдѣльные бруса связанныхъ въ точкахъ B и B, то фигура фермы могла бы измѣняться тѣмъ, что четыреугольникъ $CBBC$ могъ бы перекоситься.



Чер. 104.

Раскосы употребляются въ фермахъ для того, чтобы онѣ могли выдерживать грузы, разположенные различнымъ образомъ; если бы грузъ былъ всегда разпредѣленъ одинаково, то можно было бы фермѣ придать соотвѣтственную форму и въ раскосахъ не было бы никакой надобности.

Измѣненія груза производятъ измѣненія въ напряженіяхъ разныхъ частей фермы и преимущественно раскосовъ; и каждая часть должна быть приспособлена къ выдержанію самаго сильнаго груза, которому она можетъ поддергнуться.

Нѣкоторые части, особенно же раскосы, дѣйствуютъ то какъ струны, то какъ распорки, смотря по распредѣленію груза.

121. Второстепенные и сложные шпренгеля. Второсте-

пеннымъ называется такой шпренгель, который поддержанъ другимъ.

Когда грузъ распредѣленъ на много центровъ сопротивленія, тогда можетъ быть выгодно, вмѣсто связыванія ихъ въ одну большую ферму, образовать нѣсколько малыхъ шпренгелей, поддержанныхъ другими бо̀льшими и такъ далѣе, такъ что вся система второстенныхъ шпергелей поддержана окончательно однимъ шпренгелемъ, который можно назвать *первоначальнымъ* или *главнымъ*.

Въ этой системѣ одинъ и тотъ же брусъ можетъ составлять часть различныхъ шпренгелей и тогда его напряженіе опредѣляется по слѣдующему правилу:

Когда одинъ брусъ составляетъ часть двухъ или нѣсколькихъ фермъ, то его напряженіе есть равнодѣйствующая разныхъ напряженій, претерпѣваемыхъ въ разныхъ фермахъ.

Въ сложномъ шпренгелѣ случается, что нѣсколько фермъ соединено безъ различія на главныя и второстепенныя, нѣкоторыя брусья общи тѣмъ и другимъ фермамъ и ихъ напряженія опредѣляются по тому же правилу.

Примѣры сложныхъ и второстепенныхъ шпренгелей приведены въ статьяхъ объ деревянныхъ и желѣзныхъ строеніяхъ.

122. Сопротивленіе фермы въ сѣченіи. Вычисленіе напряженій разныхъ брусьевъ фермы можетъ быть иногда сокращено приложеніемъ слѣдующаго начала:

Если внѣшнія силы дѣйствуютъ на ферму и если разсѣчь ее плоскостью, которая дѣлитъ ее на двѣ части, то напряженія вдоль брусьевъ, разсѣченныхъ этою плоскостью, уравновѣшиваютъ внѣшнія силы, приложенныя къ одной изъ этихъ частей фермы.

Въ большей части встрѣчающихся на дѣлѣ случаевъ, линіи сопротивленія брусьевъ фермы и линіи дѣйствія внѣшнихъ силъ всѣ находятся въ одной отвѣсной плоскости, и внѣшнія силы отвѣсны: въ этихъ случаяхъ лучше всего дѣлать сѣченіе фермы плоскостью отвѣсною и перпендикулярною къ плоскости фермы. Прямую пересѣченія этихъ двухъ плоскостей можно принять за одну изъ осей координатъ, напримѣръ за ось y, а какую нибудь ея точку O за начало координатъ; провести черезъ нее ось x перпендикулярно къ оси y въ плоскости фермы, а ось z перпендикулярно къ плоскости фермы и въ плоскости сѣченія.

Внѣшнія силы приложенныя къ одной части фермы (которой нибудь) сводятся по правилу § 99 на три величины: составляющую по оси $x = \Sigma X$, составляющую по оси $y = \Sigma Y$; и пару дѣйствующую во кругъ оси Z и которой моментъ есть M. Напряженія брусьевъ, перерѣзанныхъ плоскостью сѣченія должны уравновѣшивать эти двѣ силы и эту пару. Если не болѣе трехъ брусьевъ пересѣчено плоскостью сѣченія, то будетъ не болѣе трехъ неизвѣстныхъ величинъ и три уравненія между ними и данными величинами, слѣдовательно вопросъ опредѣленный; если же разсѣчено болѣе трехъ брусьевъ, то вопросъ можетъ быть неопредѣленнымъ.

Будемъ считать x положительнымъ въ сторону той части фермы, для которой опредѣляются величины ΣX, ΣY и M; y считается положительнымъ вверхъ; углы откладываемые отъ Ox къ $+y$ будутъ считаться положительными. Назовемъ буквами i_1, i_2, i_3 углы, которыя составляютъ съ осью x линіи сопротивленія брусьевъ разрѣзанныхъ плоскостью сѣченія; буквами n_1, n_2, n_3 длины перпендикуляровъ опущенные изъ точки O на эти линіи, они считаются положительными, если находятся выше линіи Ox; наконецъ буквами R_1, R_2, R_3 самыя сопротивленія или напряженія брусьевъ, причемъ натянутости будутъ считаться положительными, а распоры отрицательными.

Для опредѣленія R_1, R_2, R_3 составится три уравненія

$$\left.\begin{aligned} \Sigma X &= R_1 \cos i_1 + R_2 \cos i_2 + R_3 \cos i_3 \\ \Sigma Y &= R_1 \sin i_1 + R_2 \sin i_2 + R_3 \sin i_3 \\ -M &= R_1 n_1 + R_2 n_2 + R_3 n_3 \end{aligned}\right\} \quad (1.)$$

По отношенію къ плоскости сѣченія ΣX есть нормальное, ΣY касательное или сдвигающее напряженіе, а M моментъ сгиба или сгибающее усиліе, потому что стремится согнуть ферму у разсматриваемаго сѣченія: M считается положительнымъ, если выгибъ будетъ кверху.

Примѣры приложенія этаго способа приведены будутъ при разсмотрѣніи рѣшетчатыхъ деревянныхъ и желѣзныхъ балокъ.

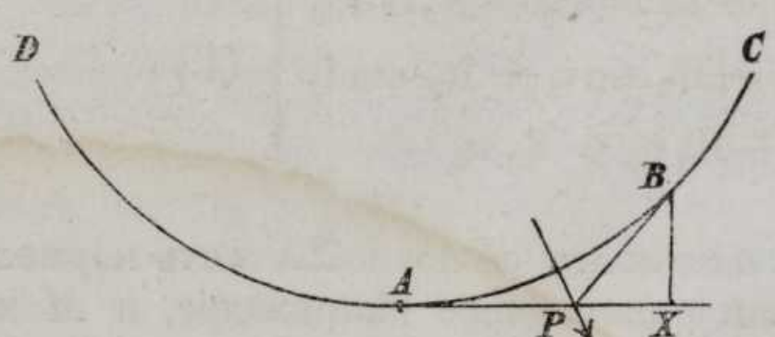
123. Равновѣсіе цѣпи или веревки. Нагруженную цѣпь можно разсматривать какъ многоугольную ферму, которой части такъ малы, а вязки такъ многочисленны, что

многоугольникъ можно безъ большой погрѣшности принять за непрерывную кривую.

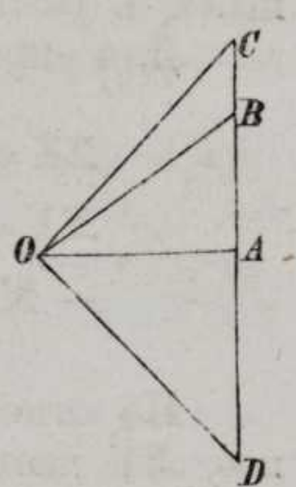
Вотъ главнѣйшіе законы равновѣсія тяжелой цѣпи или веревки:

I. *Общій законъ равновѣсія веревки.* Линія DAC (чер. 105) представляетъ цѣпь или веревку привѣшенную въ точкахъ C и D; на разныя ея точки дѣйствуютъ силы равныя или неравныя. Возьмемъ двѣ точки A и B на этой линіи, проведемъ въ нихъ касательныя AP и BP, которыя пересѣкутся въ точкѣ P. Дѣйствующій между этими двумя точками на веревку грузъ уравновѣшивается *натянутостью* цѣпи въ точкахъ B и A; линіи дѣйствія этихъ натянутостей суть касательныя AP и BP, а потому равнодѣйствующая грузовъ лежащихъ на цѣпи между точками A и B должна проходить черезъ точку P встрѣчи касательныхъ; а натянутости цѣпи въ точками A и B и грузъ на части цѣпи AB должны быть пропорціональны длинамъ сторонъ триугольника, параллельныхъ линіямъ ихъ дѣйствія.

II. *Отвѣсно нагруженная цѣпь. Кривая равновѣсія.* Если направленіе груза вездѣ отвѣсно, то проводится отвѣсная линія CD (чер. 106), которой длина представляетъ полный грузъ, лежащій на цѣпи: чрезъ концы C и D этой



Чер. 105.



Чер. 106.

линіи проводятся прямыя CO и DO параллельныя линіямъ, касательнымъ къ цѣпи въ точкахъ C и D; онѣ пересѣкаются въ O и длины ихъ представляютъ натянутости цѣпи въ точкахъ привѣса.

Пусть A (чер. 105.) есть низшая точка цѣпи; проведемъ горизонтальную линію OA (чер. 106): длина этой линіи будетъ представлять горизонтальную составляющую

натянутости цѣпи въ каждой ея точкѣ. Если провести OB параллельно касательной къ кривой линіи при точкѣ B, то AB будетъ представлять грузъ дѣйствующій между A и B, а длина линіи OB натянутость цѣпи въ точкѣ B.

Чтобы выразить это все алгебрическими знаками назовемъ буквами

H горизонтальную натянутость цѣпи въ точкѣ A или линію OA.

R натянутость цѣпи въ точкѣ B или линію OB.

P грузъ между точками A и B или линію AB.

i уголъ наклоненія цѣпи къ горизонту въ точкѣ B т. е. уголъ BPX (чер. 105) и BOA (чер. 106.)

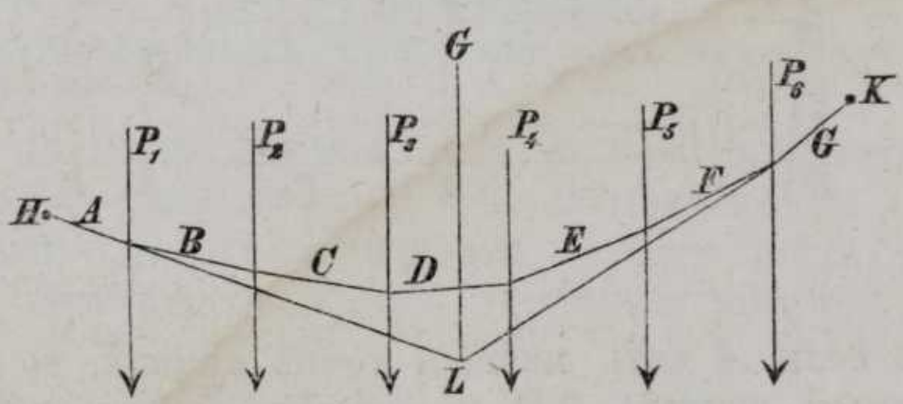
$$P = H \operatorname{tang} i;\ R = \sqrt{P^2 + H^2} = H \sec i \ldots\ldots\ldots (1.)$$

Чтобы вывесть уравненіе кривой, которую принимаетъ цѣпь, надобно отнести эту кривую къ двумъ прямоугольнымъ осямъ координатъ. Возьмемъ напримѣръ за начало координатъ низшую точку кривой A, а за ось x касательную AX къ кривой въ этой точкѣ и проведемъ ось y перпендикулярно къ AX, тогда координаты точки B (чер. 105) будутъ $AX = x$; $XB = y$; и

$$\operatorname{tang} i = \frac{dy}{dx} = \frac{P}{H} \ldots\ldots (2.)$$

Когда извѣстно распредѣленіи груза по цѣпи, тогда по этому дифференціальнаму уравненію можно будетъ опредѣлить *кривую равновѣсія.*

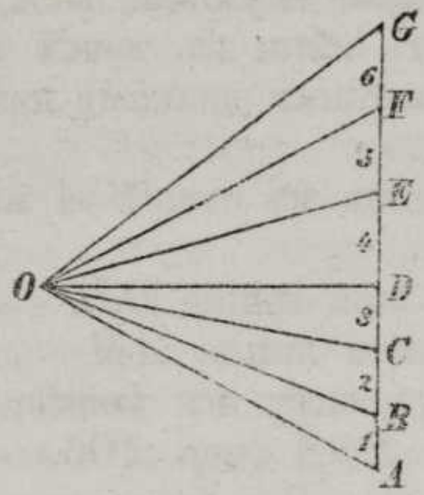
124. Приблизительное начертаніе кривой равновѣсія. Даны точки H и K (чер. 108) привѣса цѣпи, обремененной



Чер. 108.

отвѣснымъ грузомъ, котораго распредѣленіе извѣстно; дано также направленіе касательной въ точкѣ привѣса H.

Надобно найти центръ тяжести G всего груза поддерживаемаго цѣпью, провести черезъ него отвѣсную линію GL, которая пересѣчетъ касательную HL въ точкѣ L; прямая KL соединяющая эту точку съ K есть касательная въ K.



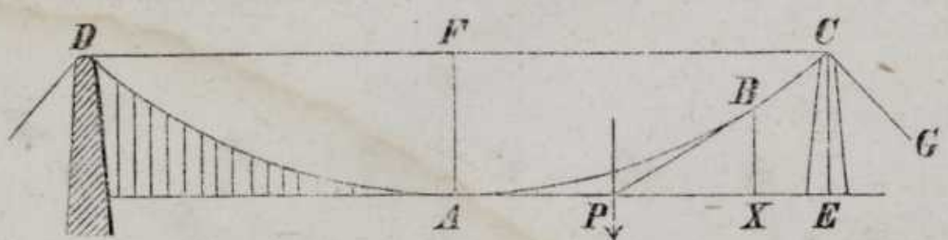
Чер. 107.

Раздѣлите грузъ на нѣсколько частей, чѣмъ больше этихъ частей, тѣмъ точнѣе опредѣлится форма кривой: найдите центры тяжести этихъ частей и проведите черезъ нихъ отвѣсныялиніи P_1, P_2, P_3 и т. д.

Составьте діаграмму силъ (чер. 107): GA есть полный грузъ, AB или 1, BC или 2 и т. д. суть величины грузовъ, дѣйствующихъ въ точкахъ P_1, P_2, P_3 . . .; чрезъ G и A проводятся линіи GO и AO параллельныя касательнымъ KL и HL въ точкахъ привѣса. Черезъ точку O ихъ пересѣченія и точки B, C, D дѣленія линіи GA проводятся прямыя BO, CO означающія натянутости цѣпи. Черезъ точку пересѣченія P_1 и HL (чер. 108) проводится линія параллельная BO до пересѣченія съ P_2, отсюда линія параллельная CO до пересѣченія съ P_3 и т. д.

Такимъ образомъ составится веревочный многоугольникъ $ABCDEFG$, котораго стороны будутъ касательны къ линіи равновѣсія цѣпи.

125. Цѣпь, нагруженная равномѣрно. Висячіе мосты. Равномѣрнымъ отвѣснымъ грузомъ называется тотъ, который распредѣленъ равномѣрно по горизонтальной прямой;



Чер 109.

такъ что если A есть низшая точка кривой, то грузъ поддерживаемый частью AB пропорціоналенъ длинѣ $AX = x$, или горизонтальному разстоянію между A и B, и можетъ быть выраженъ уравненіемъ.

$$P = px \ldots\ldots (1.)$$

гдѣ p есть постоянная величина или *величина груза въ единицахъ вѣса на единицу длины* напримѣръ въ пудахъ на погонный футъ.

Такъ какъ грузъ разпредѣленъ равномѣрно между A и B, то его равнодѣйствующая дѣлитъ пополамъ линію AX, а кривая равновѣсія есть *парабола*, которой вершина въ точкѣ A.

Отношенія между грузомъ, горизонтальною и наклонною натянутостью цѣпи выражается уравненіями.

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{P}:\mathrm{H}:\mathrm{R} :: \mathrm{BX}:\mathrm{PX}:\mathrm{PB} :: y : \frac{x}{2} : \sqrt{y^2+\frac{x^2}{4}} \\ :: px : \frac{px^2}{2y} : px\sqrt{1+\frac{x^2}{4y^2}} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (2.)$$

Фокусное разстояніе параболы есть

$$m = \frac{x^2}{4y} = \frac{\mathrm{H}}{2p} \ldots\ldots (3.)$$

Грузъ въ висячихъ мостахъ нельзя назвать непрерывнымъ, потому что прутья, которыми привѣшенъ полъ къ цѣпи или канату, прикрѣплены къ нѣкоторымъ точкамъ цѣпи; нельзя также считать этотъ грузъ равномѣрно разпредѣленнымъ, потому что у концовъ цѣпи, какъ самая цѣпь такъ и привѣсные прутья тяжеле. Не смотря однакожъ на эти обстоятельства, выведенныя теперь уравненія прилагаются къ цѣпи висячаго моста съ достаточною степенью вѣрности, потому что въ немъ грузъ разпредѣленъ *почти* равновѣрно и *почти* непрерывно.

На основаніи этихъ уравненій рѣшаются слѣдующія задачи:

Задача 1. Даны высоты y_1 и y_2 точекъ привѣса надъ низшею точкою цѣпи, и горизонтальное разстояніе a между этими точками или отверстіе моста; нужно найти разстоянія x_1 и x_2 отъ низшей точки, до точекъ привѣса.

$$x_1 = a\cdot\frac{\sqrt{y_1}}{\sqrt{y_1}+\sqrt{y_2}}; x_2 = a\cdot\frac{\sqrt{y_2}}{\sqrt{y_1}+\sqrt{y_2}} \ldots (4.)$$

$$m = \frac{a^2}{4y_1+4y_2+8\sqrt{y_1 y_2}} \ldots\ldots (5.)$$

Когда точки привѣса въ одномъ уровнѣ.

$$y_1 = y_2;\ x_1 = \frac{a}{2};\ m = \frac{a^2}{16\sqrt{y_1}} \ldots\ldots (6.)$$

Задача 2. При тѣхъ же данныхъ, найти углы i_1, i_2 наклоненія цѣпи къ горизонту въ точкахъ привѣса.

$$\operatorname{tg} i_1 = \frac{2y_1}{x_1} = \frac{2y_1 + 2\sqrt{y_1 y_2}}{a};\ \operatorname{tg} i_2 = \frac{2y_2}{x_2} = \frac{2y_2 + 2\sqrt{y_1 y_2}}{a} \quad (7.)$$

когда

$$y_1 = y_2;\ \text{то}\ \operatorname{tang} i_1 = \operatorname{tang} i_2 = \frac{4y_1}{a} \ldots (8)$$

Задача 3. Даны тѣже величины и кромѣ того грузъ p на погонную единицу длины: найти горизонтальную натянутость H, и натянутости R_1 и R_2 въ точкахъ привѣса.

$$\mathrm{H} = 2pm = \frac{pa^2}{2y_1 + 2y_2 + 4\sqrt{y_1 y_2}} \ldots\ldots (9.)$$

$$\mathrm{R}_1 = \mathrm{H}\sqrt{\left(1 + \frac{4y_1^2}{x_1^2}\right)};\ \mathrm{R}_2 = \mathrm{H}\sqrt{\left(1 + \frac{4y_2^2}{x_2^2}\right)} \ldots (10.)$$

при $y_1 = y_2$ получаемъ

$$\mathrm{H} = \frac{pa^2}{8y_1};\ \mathrm{R}_1 = \mathrm{R}_2 = \mathrm{H}\sqrt{\left(1 + \frac{16y_1^2}{a^2}\right)} \ldots (11.)$$

Задача 4. При тѣхъ же данныхъ, найти длину цѣпи.

Чтобы узнать длину дуги параболы можно употребить одну изъ двухъ извѣстныхъ формулъ

$$s = \sqrt{\left(y^2 + \frac{x^2}{4}\right)} + \frac{x^2}{4y}\ \text{hyp. log.}\ \frac{y + \sqrt{y^2 + \frac{x^2}{4}}}{\frac{x}{2}}$$

$$s = m\left[\operatorname{tang} i \cdot \sec i + \text{hyg. log.}\,(\operatorname{tang} i + \sec i)\right] \ldots (12.)$$

Каждая даетъ длину параболы отъ вершины до какой нибудь ея точки: первая въ функціи координатъ этой точки, вторая въ функціи угла касательной въ этой точкѣ съ касательною въ вершинѣ параболы.

Длина цѣпи найдется, если вставить сначала x_1 и y_1,

потомъ x_2 и y_2 въ первую формулу и сложить выводы $s_1 + s_2$, или вставить i_1 и i_2 въ вторую формулу.

Напрактикѣ можно съ достаточною степенью вѣрности употреблять приблизительную формулу

$$s = x + \frac{2y^2}{3x} \ldots (13.)$$

тогда

$$s_1 + s_2 = a + \frac{2}{3}\left(\frac{y_1^2}{x_1} + \frac{y_2^2}{x_2}\right) \ldots\ldots (14.)$$

при $y_1 = y_2$ имѣетъ

$$2s_1 = a + \frac{8}{3}\frac{y_1^2}{a} \ldots\ldots (15.)$$

Задача 5. При тѣхъ же данныхъ найти малое удлиненіе $d(s_1 + s_2)$ цѣпи при маломъ пониженіи dy низшей ея точки A и обратно.

$$\frac{d(s_1 + s_2)}{dy} = \frac{4}{3}\left(\frac{y_1}{x_1} + \frac{y_2}{x_2}\right) \ldots\ldots (16.)$$

при $y_1 = y_2$

$$\frac{2ds_1}{dy} = \frac{16y_1}{3a} \ldots\ldots (17.)$$

Эти формулы служатъ для того, чтобы узнавать колебанія низшей точки цѣпи, при измѣненіяхъ ея длины отъ тепла или вытягиванія.

Задача 6. Найти давленіе на вершины устоевъ.

Когда устои висячаго моста тонки и отвѣсны, какъ это обыкновенно бываетъ, то равнодѣйствующая груза на нихъ должна быть тоже отвѣсна. На чер. 109 линія CE есть отвѣсная ось устоя, а CG часть цѣпи или каната, которая перешла за устой и поддерживаетъ другую часть мостоваго полотна или укрѣплена въ скалѣ, каменной кладкѣ или иначе. Если цѣпь переходитъ на каткахъ чрезъ кривую вершину устоя, которую называютъ *сѣдломъ* (saddle) и по которой она можетъ скользить, то натянутости цѣпи по обѣ стороны устоя должны быть одинаковы; а чтобы ихъ натянутости могли дать отвѣсную равнодѣйствующую, углы ихъ съ отвѣсною линіею должны быть равны между собою. Пусть i означаетъ углы наклоненія къ горизонту

привѣской и поддерживающей цѣпи; R натянутость цѣпей; отвѣсное давленіе на устой будетъ

$$V = 2R \sin i = 2H \operatorname{tang} i = 2px \ldots . (18.)$$

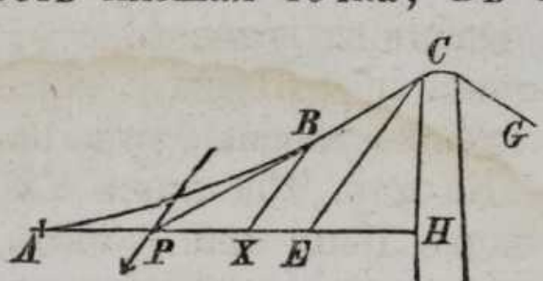
или удвоенный вѣсъ части моста между устоемъ и низшею точкою цѣпи.

Но когда цѣпи прикрѣплены къ *тележкѣ*, которая двигается на каткахъ по горизонтальной платформѣ на вершинѣ устоя, тогда давленіе на устой будетъ отвѣсно даже и при неравныхъ углахъ наклоненія цѣпей къ горизонту, нужно только чтобы горизонтальныя натянутости цѣпей были равны между собою; пусть i и i' углы наклоненія цѣпей по обѣ стороны устоя у точки C, а R и R' натянутости цѣпей, тогда

$$R = H \sec i;\ R' = H \sec i';$$
$$V = R \sin i + R' \sin i' = H (\operatorname{tang} i + \operatorname{tang} i') \ldots . (19.)$$

126. Висячіе мосты съ наклонными прутьями. Равномѣрно нагруженное мостовое полотно можетъ быть подвѣшено подъ цѣпью посредствомъ наклонныхъ параллельныхъ между собою прутьевъ. Условія равновѣсія цѣпи въ такомъ мостѣ, будутъ тѣже, что и при отвѣсныхъ прутьяхъ, форма ея будетъ также парабола, только ось кривой параллельна привѣснымъ прутьямъ.

На чер. 110 CA есть цѣпь укрѣпленная въ C, A есть низшая точка, въ которой касательная AH горизонтальна и представляетъ мостовое полотно; всѣ привѣсные прутья, наклонены къ горизонту и составляютъ съ отвѣсною постоянный уголъ j. Одинъ изъ такихъ прутьевъ есть BX; въ точкѣ X находится грузъ v, который по закону фермы о двухъ брусьяхъ, производитъ вытягиваніе p прута BX, и сжиманіе q части XH полотна; три силы v, p и q пропорціональны параллельнымъ ихъ линіямъ дѣйствія сторонамъ тругольника CEH



Чер. 110.

$$v : p : q :: CH : CE : EH :: 1 : \sec j : \operatorname{tan} j \ldots . (1.)$$

Теперь вмѣсто груза въ точкѣ X возьмемъ грузъ V всего полотна между A и X.

Пусть P означаетъ натянутость прутьевъ между A и X, Q полное сжиманіе полотна у точки X, тогда

$$V : P : Q = \overline{CH} : \overline{CE} : \overline{EH} = 1 : \sec j : \operatorname{tang} j \ldots . (2.)$$

Наклонный грузъ $P = V \sec j$ виситъ на части цѣпи между A и B; такъ какъ онъ равномѣрно распредѣленъ, то равнодѣйствующая его дѣлитъ AX пополамъ въ точкѣ P; это есть въ тоже время точка пересѣченія касательныхъ AP и BP; отношеніе этаго наклоннаго груза P къ горизонтальной натянутости H цѣпи въ точкѣ A, и натянутости R цѣпи въ B равно отношенію сторонъ триугольника BXP т. е.

$$P : H : R :: BX : XP : BP \ldots . (3.)$$

Кривая CBA есть парабола, которой ось параллельна наклоннымъ прутьямъ, уравненіе ея относительно косоугольныхъ осей координатъ, имѣющихъ начало въ точкѣ A, есть

$$y = \frac{x^2 \cos^2 j}{4m} \ldots . (4.)$$

здѣзь m какъ и въ § 125 означаетъ фокусное разстояніе или четверть параметра

$$m = \frac{x_1^2 \cos^2 j}{4 y_1} \ldots . (5.)$$

гдѣ x_1 и y_1 суть координаты какой нибудь извѣстной точки кривой.

Длина касательной BP получается изъ уравненія

$$t = \sqrt{\left(\frac{x^2}{4} + y^2 + x y \sin j\right)}$$

Если означить буквами v величину отвѣснаго груза на погонную единицу полотна, p наклоннаго груза тоже на единицу длины; q возрастаніе сжимающаго усилія вдоль мостоваго полотна отъ A къ H; то отношенія между силами, дѣйствующими въ висячемъ мостѣ съ наклонными прутьями, выражаются формулами:

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{V} &= v\,x. \\ \mathrm{P} &= p\,x = v\,x\sec j \\ \mathrm{Q} &= q\,x = v\,x\,\mathrm{tang}\,j \end{aligned}\right\} \ldots (7.)$$

$$\mathrm{H} = \frac{x\,\mathrm{P}}{2y} = \frac{p\,x^2}{2y} = \frac{2\,p\,m}{\cos^2 j} = 2\,v\,m\sec^3 j. \ldots (8.)$$

$$\mathrm{R} = \frac{t\,\mathrm{P}}{y} = \frac{2\,t\,\mathrm{H}}{x} = \frac{p\,t\,x}{y} = \frac{v\,t\,x\sec j}{y} \ldots\ldots (9.)$$

Горизонтальную натянутость H въ точкѣ A можно уравновѣсить или уничтожить однимъ изъ трехъ слѣдующихъ способовъ.

I. Цѣпь можетъ быть укрѣплена точкой A въ скалѣ или каменной кладкѣ.

II. Отъ точки A можетъ идти другая такая же или подобная цѣпь, съ полотномъ подвѣшеннымъ на прутьяхъ, наклонныхъ подъ такимъ же угломъ, но въ противную сторону, и тогда точка A будетъ средина отверстія моста.

III. Цѣпь можетъ быть прикрѣплена въ точкѣ A къ мостовому полотну и натянутость H въ этой точкѣ будетъ уравновѣшиваться распоромъ полотна, если только оно будетъ имѣть достаточные размѣры, для сопротивленія сжиманію. Въ этомъ случаѣ сжиманіе вдоль у точки X ужъ не равно qx какъ прежде, а есть

$$\mathrm{H} + Q = \left(\frac{\mathrm{P}}{2y} + q\right)x = v\,(2\,m\sec^3 j + x\,\mathrm{tang}\,i) \ldots . (10.)$$

Длина дуги AB параболы есть

$$\mathrm{AB} = m\left\{\mathrm{tang}\,i\sec i - \mathrm{tang}\,j\sec j + \mathrm{hyp.log.}\frac{\mathrm{tang}\,i + \sec i}{\mathrm{tang}\,j + \sec j}\right\} (11.)$$

гдѣ i есть уголъ составляемый касательною къ параболѣ въ точкѣ B съ линіею перпендикулярною къ ея оси

$$i = arc\cos\left(\frac{x}{2t}\cos j\right) \ldots (12.)$$

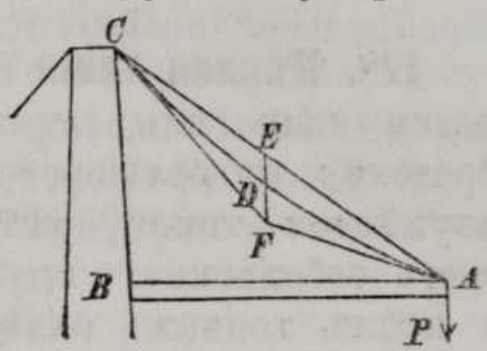
Когда точка B совпадаетъ съ A то $i = j$.

Вмѣсто приведенной выше сложной формулы можно употреблять другую, которая проще, но даетъ приблизительную только величину длины дуги параболы.

$$\mathrm{AB} = x + y\sin j + \frac{2}{3}\frac{y^2\cos^2 j}{x + y\sin j} \ldots\ldots (13.)$$

Формулы этаго параграфа прилагаются къ висячимъ мостамъ системы Дреджа, въ которой прутья можно считать параллельными между собою, хотя это и не совсѣмъ справедливо.

127. Прогибъ струны. Въ точкѣ A (чер. 111), концѣ горизонтальной распорки AB, находится грузъ P, упирается этотъ брусъ въ устой B, и удержанъ веревкой, или гибкою струною ADC, укрѣпленною вверху устоя въ точкѣ C. Вѣсъ распорки AB разлагается на двѣ составляющія, одна дѣйствуетъ на устой, другая включена въ общій грузъ P; вѣсъ струны W извѣстенъ и принимается въ расчетъ отдѣльно.



Чер. 111.

Задача. Найти прогибъ DE струны относительно хорды CA, натянутость струны въ точкахъ A, D и C и горизонтальный распоръ вдоль бруса AB.

Такъ какъ вѣсъ струны W очень малъ сравнительно съ P, то прогибъ будетъ весьма малъ и можно считать, что этотъ вѣсъ расположенъ равномѣрно относительно горизонтальной линіи; кривая, по которой согнется струна, есть по этому парабола, касательная къ ней въ точкѣ D будетъ почти параллельна хордѣ CA; касательныя въ точкахъ C и A пересѣкаются на отвѣсной линіи, раздѣляющей CA пополамъ, а точка D находится насереди̇нѣ линіи EF.

Для того, чтобы рѣшить задачу, надобно построить діаграмму силъ, замѣчая что въ точкѣ A дѣйствуетъ только сила P, въ точкѣ D сила $P + W:2$ а въ C силы P и W вмѣстѣ. Если назвать H горизонтальную силу, R_a, R_d и R_c натянутости цѣпи въ A, D и C, то будемъ имѣть

$$\left.\begin{aligned} H &= \left(P + \frac{W}{2}\right)\frac{AB}{BC} \\ R_a &= \sqrt{H^2 + P^2};\ R_d = \sqrt{H^2 + \left(P + \frac{W}{2}\right)^2} \\ R_c &= \sqrt{H^2 + (P + W)^2} \\ DE &= \frac{1}{8}\,BC\,\frac{W}{P + \frac{W}{2}} \end{aligned}\right\} \quad (1.)$$

Разность между длиною кривой линіи ADC и ея хордою AC найдется безъ большой ошибки по формулѣ

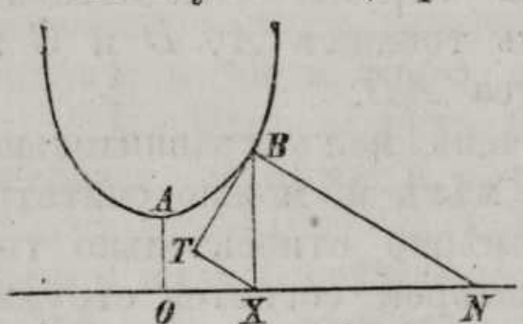
$$ADC - AC = \frac{8}{3}\frac{AB^2 \cdot DE^2}{AC^3} = \frac{1}{24}\frac{AB^2 \cdot BC^2}{AC^2}\left\{\frac{W}{P+\frac{W}{2}}\right\}^2 \quad (2.)$$

128. Цѣпная линія есть вообще та линія, по которой сгибается цѣпь или веревка, нагруженная какимъ нибудь образомъ; но большею частью подъ именемъ цѣпной линіи разумѣется такая, которая подвержена только дѣйствію своего собственнаго груза, совершенно однородна, и имѣетъ во всѣхъ точкахъ одинакіе размѣры въ сѣченіи.

Вотъ главныя свойства такой линіи

I. Всѣ цѣпныя линіи подобны между собою.

II. Пусть A (чер. 112) низшая точка или вершина линіи, касательная въ этой точкѣ горизонтальна; пусть AO представляетъ параметръ или *модуль* этой линіи, который означимъ буквою m. B есть одна, изъ точекъ этой линіи, координаты ея суть $OX=x$ и $BX=y$.



Чер. 112.

$$y = \frac{m}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} + e^{-\frac{x}{m}}\right); \quad x = m \operatorname{hyp.log.}\left(\frac{y}{m} + \sqrt{\frac{y^2}{m^2} - 1}\right)$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tang} i = \frac{1}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} - e^{-\frac{x}{m}}\right) = \frac{s}{m}$$

$$AB = s = \frac{m}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} - e^{-\frac{x}{m}}\right) = \sqrt{y^2 - m^2};$$

$$AOXB = \int y\,dx = \frac{m^2}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} - e^{-\frac{x}{m}}\right) = m\,s.$$

$$\varrho = \frac{y^2}{m} = \frac{m}{4}\left(e^{\frac{2x}{m}} + e^{-\frac{2x}{m}} + 2\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.)$$

Послѣднее есть выраженіе радіуса кривизны, который равенъ m для точки A.

Если на BX какъ на гипотенузѣ построить прямоугольный триугольникъ XTB, котораго катетъ XT равенъ

OA или m, то прямая TB будетъ касательна къ кривой въ точкѣ B, а длина ея равна длинѣ кривой между точками A и B; прямая BN перпендикулярная къ BT есть нормальная, а длина ея между точкою B и точкою N пересѣченія ея съ осью x, равна длинѣ радіуса кривизны въ точкѣ B.

III. Цѣпная линія имѣетъ слѣдующія механическія свойства.

Если означить буквою p вѣсъ погонной единицы длины цѣпи, H горизонтальную натянутость въ точкѣ A; P отвѣсный грузъ между A и B; R натянутость въ B, то

$$\mathrm{H} = \mathrm{pm},\ \mathrm{P} = \mathrm{ps},\ \mathrm{R} = \sqrt{\mathrm{H}^2 + \mathrm{P}^2} = \mathrm{py} \quad \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Изъ этаго видно, что параметръ равенъ длинѣ такой цѣпи, которой вѣсъ равенъ горизонтальной натянутости, а ордината какой нибудь точки равна длинѣ цѣпи, которой вѣсъ есть горизонтальная натянутость цѣпи въ этой точкѣ.

IV. *Задача.* Даны двѣ точки цѣпной линіи, и длина цѣпи между ними, найти элементы кривой т. е. ея параметръ и вершину.

Назовемъ k горизонтальное разстояніе данныхъ точекъ, v относительную ихъ высоту, l длину кривой между точками.

Если x_1 и x_2 суть разстоянія высшей и низшей точки отъ вершины, то

$$x_1 = \frac{1}{2}\left(m \text{ hyp. log.} \frac{l+v}{l-v} + k\right);$$

$$x_2 = \frac{1}{2}\left(m \text{ hyp. log.} \frac{l+v}{l-v} - k\right) \quad \ldots\ldots (3.)$$

а параметръ найдется посредствомъ послѣдовательныхъ приближеній изъ уравненія

$$m\left(e^{\frac{k}{2m}} - e^{\frac{-k}{2m}}\right) = \sqrt{l^2 - v^2} \quad \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Вблизи вершины цѣпная линія очень мало отклоняется отъ параболы, которой фокусное разстояніе равно полупараметру цѣпной линіи, по этому можно съ нѣкоторою степенью приближенія вычислять ее, какъ параболу, которой

уравненіе гораздо проще. Чтобы показать разность между этими двумя кривыми, здѣсь выражены ихъ элементы, при чемъ элементы цѣпной линіи разложены въ сходящуюся строку.

Цѣпная линія $y = m\left\{1 + \frac{x^2}{2m^2} + \frac{x^4}{24m^4} + \frac{x^6}{720m^6} + \ldots\right\}$

Парабола $y = m\left\{1 + \frac{x^2}{2m^2}\right\}$

Уклонъ:
Цѣпной линіи $\frac{dy}{dx} = \frac{x}{m}\left\{1 + \frac{x^2}{6m^2} + \frac{x^4}{120m^4} + \ldots\right\}$

Параболы $\frac{dy}{dx} = \frac{x}{m}$

Площади:

Цѣпной линіи $\int y\,dx = mx\left\{1 + \frac{x^2}{6m^2} + \frac{x^4}{120m^4} + \ldots\right\}$

Параболы $\int y\,dx = mx\left\{1 + \frac{x^2}{6m^2}\right\}$

Длина кривой:

Цѣпной линій $s = x\left\{1 + \frac{x^2}{6m^2} + \frac{x^4}{120m^4} + \ldots\right\}$

Параболы $s = x\left\{1 + \frac{x^2}{6m_1} - \frac{x^4}{40m^4} + \ldots\right\}$

Въ этихъ формулахъ количество означенное буквою m вдвое болѣе того, которое въ § 125 было означено тою же буквою.

Чтобы еще яснѣе видно было сходство этихъ линій положимъ

$$x = \frac{m}{3}$$

тогда

Цѣпная линія $y_1 = 1.0561\,m$; $\frac{dy_1}{dx} = 0.3395$;

$$\int y_1\,dx = 0.33953\,m^2;\ s_1 = 0.33953\,m$$

Парабола $y_2 = 1.0556\,m$; $\frac{dy_2}{dx} = 0.3333$;

$$\int y_2\,dx = 0.33950\,m^2;\ s_2 = 0.33940\,m$$

$$\text{Разность } y_1 - y_2 = 0.0005\,m;\ \frac{dy_1}{dx} - \frac{dy_2}{dx} = 0.0062;$$

$$\int y_1\,dx - \int y_2\,dx = 0.00003\,m^2;\ s_1 - s_2 = 0.00013\,m.$$

Цѣпная линія равной крѣпкости есть та кривая, по которой сгибается цѣпь, имѣющая въ всякой точкѣ площадь пропорціональную ея натянутости: кривая эта изслѣдована Г. Деви Жильбертомъ въ Philosophical Transactions 1826 г. для того случая, когда цѣпь подвержена дѣйствію собственнаго своего вѣса. Въ Mechanics of Engineering and Architecture Канона Мозлея помѣщено его изслѣдованіе цѣпной линіи равной крѣпкости, когда кромѣ собственнаго вѣса на цѣпь дѣйствуетъ грузъ, равномѣрно распредѣленный въ горизонтальномъ направленіи: выводимыя уравненія очень сложны, но Г. Мозлей доказываетъ, что на практикѣ можно принимать эту кривую за параболу, какъ можно это дѣлать и для простой цѣпи.

Въ статьѣ о желѣзныхъ строеніяхъ показано будетъ на сколько полезно принимать въ расчетъ особенности цѣпной линіи равной крѣпкости.

129. Центръ тяжести гибкаго строенія. Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда совершенно гибкое строеніе, напримѣръ цѣпь, веревка, веревочный многоугольникъ, подвержена дѣйствію однихъ отвѣсныхъ грузовъ, фигура соотвѣтствующая устойчивому равновѣсію будетъ та, при которой центръ тяжести всѣхъ грузовъ занимаетъ низшее мѣсто. По этому всѣ вопросы, относящіеся къ устойчивому равновѣсію отвѣсно нагруженныхъ гибкихъ строеній, могутъ быть разрѣшаемы посредствомъ варіяціоннаго изчисленія; но оно очень рѣдко было примѣняемо къ практическимъ вопросамъ.

130. Преобразованія фермъ и цѣпей. Изложенный въ § 101 законъ преобразованія ряда линій, представляющихъ систему уравновѣшенныхъ силъ, въ другой рядъ линій, представляющихъ систему тоже уравновѣшенныхъ силъ, посредствомъ такъ называемыхъ *параллельныхъ проложеній* выражается въ приложеніи къ теоріи фермъ слѣдующимъ образомъ:

Если ферма, которой линіи сопротивленія образуютъ нѣкоторую фигуру, подвержена дѣйствію силъ, которыя взаимно

уравновѣшиваются и могутъ быть представлены системою линій; то ферма, которой линіи сопротивленія составляютъ параллельное проложеніе первой фигуры, будетъ въ равновѣсіи при дѣйствіи на нее силъ, представляемыхъ системою линій, которая есть параллельное проложеніе первой системы силъ; и линіи, изображающія напряженія брусьевъ новой фермы, суть параллельныя проложенія линій, представляющихъ напряженія брусьевъ первой фермы.

На основаніи этаго закона можно опредѣлить условія равновѣсія не симметрической фермы, по условіямъ равновѣсія симметрической фермы, которой параллельное проложеніе она составляетъ.

Законъ преобразованія посредствомъ параллельныхъ проложеній примѣняется къ непрерывно нагруженнымъ цѣпямъ, также точно какъ и къ многоугольнымъ фермамъ: такъ напримѣръ цѣпь висячаго моста съ наклонными привѣсными прутьями можетъ быть разсматриваема, какъ параллельное проложеніе цѣпи съ отвѣсными прутьями посредствомъ перемѣны прямоугольныхъ координатъ въ косоугольныя.

Ходъ вычисленій при этомъ преобразованіи есть слѣдующій:

Пусть въ первоначальной фигурѣ y есть отвѣсная, x горизонтальная координата какой нибудь точки; P отвѣсный грузъ дѣйствующій между нѣкоторой точкой B и нисшей точкою цѣпи A; $p = \frac{dP}{dx}$ величина его на погонную единицу горизонтальной длины; H горизонтальная составляющая натянутости; R натянутость въ точкѣ B.

Положимъ, что въ преобразованной фигурѣ, отвѣсная координата y' и отвѣсный грузъ P', представляемый отвѣсною линіею, не измѣнились ни въ длинѣ, ни въ направленіи т. е. что

$$y' = y;\ P' = P \ldots . (1.)$$

но вмѣсто каждой горизонтальной координаты x, вставляется другая координата x', которая составляетъ съ первою уголъ j, и которой величина находится въ данномъ отношеніи a къ первой координатѣ или $x' : x = a$. Тогда горизонтальная натянутость H замѣняется наклонною натянутостью H', параллельною оси x', и измѣненною въ томъ же отношеніи т. е.

$$x' = ax;\ \mathrm{H}' = a\mathrm{H} \ldots\ldots (2.)$$

Натянутость въ точкѣ B первой цѣпи есть равнодѣйствующая груза P и горизонтальной натянутости H такъ что

$$\mathrm{R} = \sqrt{\mathrm{P}^2 + \mathrm{H}^2} \ldots\ldots (3.)$$

и силы эти находятся въ слѣдующихъ отношеніяхъ

$$\mathrm{P} : \mathrm{H} : \mathrm{R} = \operatorname{tang} i : 1 : \sec i = \sin i : \cos i : 1 \ldots\ldots (4.)$$

Пусть R' есть натянутость новой цѣпи въ точкѣ B, а i' уголъ наклоненія ея къ оси x' тогда

$$\mathrm{R}' = \sqrt{\mathrm{P}^2 + \mathrm{H}'^2 \pm 2\,\mathrm{P}'\,\mathrm{H}' \sin j} \ldots\ldots (5.)$$

$$\mathrm{P}' : \mathrm{H}' : \mathrm{R}' = \sin i' : \cos (i \pm j) : \cos j \ldots\ldots (6.)$$

Знакъ $+$ берется тогда, когда углы i' и j сходны въ направленіи.

Величина груза въ преобразованной цѣпи на единицу длины оси x' есть

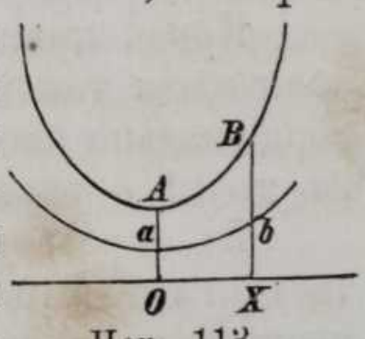
$$p_1 = \frac{d\mathrm{P}'}{dx'} = \frac{p}{a} \ldots\ldots (7.)$$

а на единицу горизонтальной длины величина груза будетъ

$$p_1 \sec j = \frac{p}{a \cos j} \ldots\ldots (8.)$$

Уголъ j наклоненія новой оси x' къ первой x можетъ быть и нулемъ.

131. Преобразованныя цѣпныя линіи представляютъ хорошій примѣръ преобразованія цѣпей и составляютъ параллельныя проложенія обыкновенной цѣпной линіи. По уравненію (1.) § 128 видно что въ цѣпной линіи площадь $AOBX$ (чер. 113) пропорціональна длинѣ дуги AB, потому что она равномѣрна съ площадью прямоугольника, котораго одна сторона есть модулъ m, а другая спрямленная дуга AB. Изъ этаго слѣдуетъ что обыкновенная цѣпная линія есть кривая равновѣсія для цѣпи, поддерживающей грузъ, который происходитъ или отъ собственнаго ея вѣса или отъ вѣса другихъ тѣлъ и пропорціоналенъ для каж-



Чер. 113.

дой части AB кривой линіи площади, заключающейся между этою кривою, двумя ординатами OA и BX и *направляющею* OX, которая находится на длину m ниже вершины кривой; величина этаго груза на единицу пропорціональна длинѣ ординаты BX или y. Такой грузъ можно представить листомъ матеріала, имѣющаго вездѣ одинакую толщину и обрѣзаннаго съ одной стороны по цѣпной линіи, а съ другой по прямой OX: пусть w означаетъ вѣсъ единицы площади этаго листа (напримѣръ вѣсъ квадратнаго фута); тогда въ обыкновенной цѣпной линіи величина груза на единицу въ какой нибудь точкѣ B есть

$$p_b = w\,y = w\,\frac{m}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} + e^{-\frac{x}{m}}\right)$$

а горизонтальная натянутость цѣпи, единичная величина груза въ точкѣ B, грузъ между A и B и натянутость въ B будутъ

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{H} &= p_0\,m = w\,m^2 \\ p &= w\,y = \frac{w\,m}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} + e^{-\frac{x}{m}}\right) \\ \mathrm{P} &= w\cdot \mathrm{OAXB} = w\int y\,dx = \frac{w\,m^2}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} - e^{-\frac{x}{m}}\right) \\ \mathrm{R}_b &= \sqrt{\mathrm{P}^2 + \mathrm{H}^2} = w\,m\,y = \frac{w\,m^2}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} + e^{-\frac{x}{m}}\right) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Положимъ теперь, что построена кривая ab, которой абсцисы тѣже, а ординаты находятся въ постоянномъ отношеніи къ ординатамъ цѣпной линіи

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{OA} : \mathrm{O}a &= \mathrm{XB} : \mathrm{X}b \\ m : y_0 &= y : y' ; \end{aligned}\right\} \quad (2.)$$

или

Новая кривая есть *преобразованная цѣпная*, это линія равновѣсія такой цѣпи, которой дуга ab нагружена пропорціонально площади $OabX$, а величина груза на единицу въ точкѣ b равна длинѣ ординаты bX.

Въ преобразованной цѣпной горизонтальная натянутость таже, что и въ простой, а отвѣсная измѣнена въ отношеніи y_0 къ m

$$\left.\begin{aligned} H' &= H = w\,m^2 \\ p' &= w\,y' = \frac{w\,y_0}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} + e^{-\frac{x}{m}}\right) \\ P' &= w\int y'\,dx = \frac{w\,m\,y_0}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} - e^{-\frac{x}{m}}\right) \\ R'_b &= \sqrt{P'^2 + H^2} \end{aligned}\right\} \quad (3.)$$

Въ приложеніи къ дѣлу этихъ формулъ встрѣтится надобность рѣшать такую задачу: дана направляющая OX, вершина a цѣпи, и одна изъ ея точекъ b, начертить цѣпную линію. Для того, чтобы рѣшить эту задачу, надобно опредѣлить параметръ m простой цѣпной линіи: пусть $y_0 = Oa$ есть ордината вершины относительно оси OX, y' ордината точки b, x горизонтальное разстояніе между этими точками.

$$m = \frac{x}{\text{hyp. log.}\left(\frac{y'}{y_0} + \sqrt{\frac{y'^2}{y_0^2} - 1}\right)} \quad \ldots\ldots (4.)$$

132. Линейныя арки или дуги вообще. Ихъ преобразованіе. Представьте себѣ опрокинутую цѣпь или веревку, въ которой грузъ, неизмѣняясь въ направленіи, величинѣ и распредѣленіи, дѣйствуетъ внутрь кривой, а не внаружу; далѣе предположите, что веревка эта получила такую жесткость, что она можетъ выдержать ударъ, не измѣняя принятой фигуры: это будетъ линейная арка или уравновѣшенная дуга; по ней въ каждой точкѣ вмѣсто натянутости и вытягиванія будетъ дѣйствовать *сжиманіе* или *распоръ*.

Линейныхъ арокъ на самомъ дѣлѣ не существуетъ, но выводимыя для нихъ законы примѣнимы къ дѣйствительнымъ аркамъ или дугамъ, какъ это будетъ объяснено въ статьѣ о каменныхъ строеніяхъ.

Правила и уравненія предъидущихъ параграфовъ относительно веревокъ и цѣпей прилагаются къ линейнымъ аркамъ, только вездѣ натянутость замѣняется распоромъ.

Правила § 123 приложимы къ линейнымъ аркамъ вообще при грузахъ, дѣйствующихъ въ какихъ бы то ни было направленіяхъ.

Правила §§ 124, 125, 128 и 130 приложимы къ линейнымъ аркамъ, подверженнымъ дѣйствію отвѣсныхъ

грузовъ, и сила означенная въ уравненіяхъ буквою H есть *горизонтальный распоръ*, перпендикулярный къ линіи дѣйствія грузовъ.

Линейная арка при равномѣрно распредѣленномъ грузѣ есть *парабола*, подобная той, которая описана въ § 125.

При линейной аркѣ, нагруженной отвѣсно, *внутреннею кривою* (intrados) называется линія арки, а *внѣшнею кривою* (extrados) та линія, которая проходитъ чрезъ верхнія точки возставленныхъ вверхъ ординатъ, имѣющихъ длину равную величинѣ груза на единицу, соотвѣтствующаго каждой точкѣ.

Линейная арка при горизонтальной внѣшней прямой линіи есть обращенная цѣпная линія или преобразованная цѣпная, и видъ ея опредѣляется уравненіями § 131, также точно, какъ и силы въ ней дѣйствующія, w означаетъ вѣсъ одного квадратнаго фута матеріала, которымъ дуга нагружена. Многіе техники называютъ эту линію *уравновѣшенною аркою* (equilibrated arch).

Правила § 130 объ преобразованіи цѣпей и веревокъ прилагаются къ линейнымъ аркамъ, объ чемъ будетъ говориться впослѣдствіи.

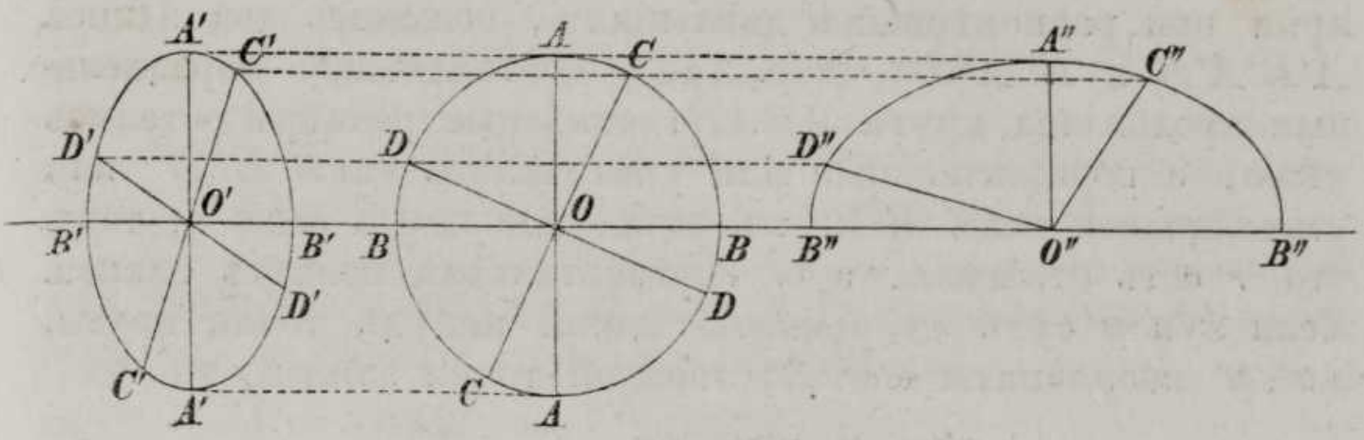
133. Круговая дуга при жидкомъ давленіи. Давленіе жидкости на всякую поверхность нормально и имѣетъ всегда одинакую величину на единицу площади. Пусть на площадь s, наклоненную къ горизонту подъ угломъ α, жидкость производитъ нормальное давленіе P, давленіе на единицу площади или $p = P : s$; разложимъ это давленія на два, одно отвѣсное $P \cos \alpha$ и другое горизонтальное $P \sin \alpha$, проложенія плоскости s будутъ отвѣсное $s \sin \alpha$ и горизонтальное $s \cos \alpha$; по этому давленіе отвѣсное на единицу горизонтальнаго проложенія и горизонталное давленіе на единицу отвѣснаго проложенія будутъ равны между собою и равны величинѣ нормальнаго давленія

$$\frac{P \cos \alpha}{s \cos \alpha} = \frac{P \sin \alpha}{s \sin \alpha} = \frac{P}{s} = p \ldots\ldots (1.)$$

Если линейная арка подвержена одинакому во всѣ стороны и нормальному давленію жидкости, то она должна быть однообразна во всѣхъ точкахъ, а это свойство имѣетъ только окружность круга, и потому арка должна быть круговая.

На чер. 114 представлена такая арка окружностью круга $ABAB$, которой центръ находится въ точкѣ O.

Для того чтобы можно было выразить давленіе единицами силы на единицу площади, положимъ что чертежъ этотъ представляетъ отрѣзокъ цилиндрической трубы длиною въ одинъ футъ. Пусть p есть величина внѣшняго



Чер. 114.

давленія на единицу площади, r радіусъ поперечнаго сѣченія трубы, T сжимающая сила въ какой нибудь точкѣ C. Проведемъ діаметръ CC; сжиманіе въ точкахъ C и C происходитъ отъ давленія жидкости на половину трубы $CBDAC$ и есть $2T$; давленіе жидкости на плоскость продольнаго сѣченія трубы по діаметру CC будетъ $2pr$ въ направленіи нормальномъ къ этому діаметру

$$2\mathrm{T} = 2pr \text{ или } \mathrm{T} = pr \ldots\ldots (2).$$

И такъ *сжимающая сила или распоръ въ дуговой аркѣ при дѣйствіи однообразнаго нормальнаго давленія равна произведенію единичной величины нормальнаго давленія на длину радіуса.*

Если назвать буквою P отвѣсное давленіе жидкости на четверть круга, H горизонтальное давленіе то

$$\mathrm{P} = \mathrm{H} = \mathrm{T} = pr \ldots\ldots (3.)$$

134. Элиптическая арка при равномѣрномъ давленіи. Если линейная арка должна выдерживать грузъ массы, въ которой сопряженныя давленія однообразны въ величинѣ и направленіи, но неравны между собою, то всѣ силы, дѣйствующія въ какомъ нибудь данномъ направленіи, находяться въ нѣкоторомъ данномъ отношеніи къ тому давленію, которое производитъ жидкость; такъ что эти давленія могутъ быть представлены линіями, составляющими параллельныя проложенія линій, которыя представляютъ силы, дѣйствующія въ жидкости. Изъ этаго слѣдуетъ, что

линейная арка подверженная такому давленію должна быть *элиптическая*, потому что элипсъ есть параллельное проложеніе круга. Для того чтобы изслѣдовать отношенія существующія между размѣрами элиптической линейной арки при равномѣрныхъ давленіяхъ, возьмемъ два элипса $A'B'A'B$ и $B''A''B''$ (чер. 114), составляющіе параллельныя проложенія круга $ABAB$: отвѣсные размѣры остались тѣже, а горизонтальные или увеличились какъ $B''B''$ или уменьшились какъ $B'B'$ въ извѣстное число разъ c; такъ что r есть отвѣсная, а cr горизонтальная полуось элипса. Если x и y суть координаты какой нибудь точки круга, а x', y' координаты соотвѣтственной точки элипса, то

$$x' = x, y' = cy \ldots\ldots (1.)$$

CC и DD суть два діаметра круга взаимно перпендикулярные, параллельныя ихъ проложенія $C'C'$ и $D'D$, въ элипсѣ суть сопряженные его діаметры, т. е. каждый параллеленъ касательной линіи, проведенной въ концѣ другаго діаметра.

Пусть P' представляетъ полное отвѣсное, H' полное горизонтальное давленіе на четвертъ элипса $A'B'$ или $A''B''$; P' есть въ тоже время распоръ въ точкахъ B' или B'', H' распоръ въ A' или A''.

По правилу преобразованія

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{P}' &= \mathrm{P} = \mathrm{T} = pr \\ \mathrm{H}' &= c\,\mathrm{H} = c\,\mathrm{T} = cpr \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (2.)$$

или *распоры пропорціональны длинѣ тѣхъ осей, которымъ они параллельны.*

Далѣе пусть P'' означаетъ полное давленіе, параллельное какому нибудь полудіаметру эллипса $O'D'$ или $O''D''$, на четверть элипса $D'C'$ или $D''C''$; что будетъ въ то же время распоръ линейной дуги въ C' или C''; если длину полудіаметра $O'D'$ или $O''D''$ назватъ буквою r' то

$$\mathrm{P}'' = \frac{r'}{r}\mathrm{P}' = pr' \ldots\ldots (3.)$$

или вообще *распоры пропорціональны длинѣ тѣхъ діаметровъ, которымъ они параллельны.*

Назовемъ p'_x и p'_y величины главныхъ сопряженныхъ давленій, горизонтальнаго и отвѣснаго на элиптическую

арку; каждая изъ нихъ найдется, когда раздѣлимъ полное давленіе на площадь, къ которой давленіе нормально

$$\left.\begin{aligned} p'_x = \frac{\mathrm{P}}{cr} = \frac{p}{c};\ p'_y = \frac{\mathrm{H}'}{r} = cp. \\ \text{откуда} \qquad p'_x : p'_y = 1 : c^2 \end{aligned}\right\} \quad (4.)$$

или *единичныя величины главныхъ давленій пропорціональны квадратамъ параллельныхъ имъ осей элиптической дуги.*

Изъ этаго выводится обратное правило, что отношеніе осей элиптической дуги должно быть равно корню квадратному изъ отношенія главныхъ напряженій

$$\frac{\mathrm{OB}'}{\mathrm{OA}'} = c = \sqrt{\frac{p'_y}{p'_x}} \ldots (5.)$$

Внѣшнее давленіе во всякой точкѣ D' или D'' эллиптической дуги направлено къ центру O' или O'' и его величина на единицу сопряженной площади $O'C'$ или $O''C''$ получается изъ уравненія

$$p' = \frac{\mathrm{P}''}{r''} = p \cdot \frac{r'}{r''} \ldots\ldots (6)$$

здѣсь r' есть полудіаметръ $O'D'$ или $O''D''$ параллельный давленію, а $O'C'$ или $O''C''$ сопряженный полудіаметръ означенъ буквою r''; изъ этаго видно что *единичная величина давленія по направленію какого нибудь діаметра пропорціональна этому діаметру и обратно пропорціональна его сопряженному діаметру.*

Если назвать p'' величину давленія параллельнаго сопряженному діаметру r'', тогда

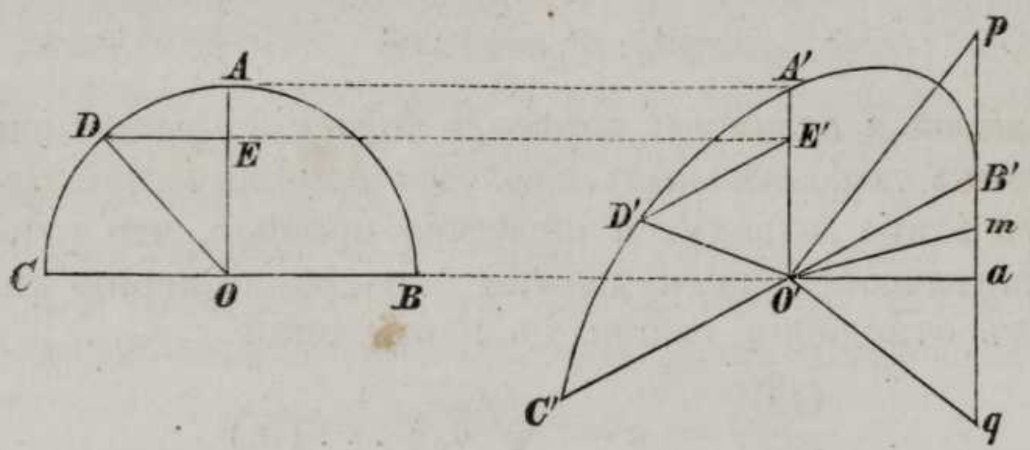
$$p' : p'' = r'^2 : r''^2 \ldots\ldots (7.)$$

или *два сопряженныя давленія въ элиптической дугѣ имѣютъ единичны величины, находящіяся между собою въ отношеніи квадратовъ діаметровъ, которымъ они параллельны.*

135. Скошенная (distorted) **элиптическая дуга.** Когда дуга должна выдерживать однообразныя давленія, но то давленіе, которое сопряжено съ отвѣснымъ, наклонно къ горизонту подъ нѣкоторымъ угломъ j, тогда фигура элипса должна быть выведена изъ фигуры круга посредствомъ перемѣны въ направленіи осей координатъ.

На чер. 115 BAC есть полукруглая арка, подвержен-

ная нормальному однообразному давленію, котораго величина есть p на единицу, радіусъ круга есть r; сжиманіе въ каждой точкѣ арки и грузъ на четверть круга есть $P = H = T = pr$.



Чер. 115.

Возьмемъ точку D круга, которой отвѣсная координата $OE = x$, а горизонтальная $ED = y$. Въ полуэлипсѣ $B'A'C'$ отвѣсная координата имѣетъ туже величину, а горизонтальная замѣнена наклонною подъ угломъ j и имѣющею къ соотвѣтственной координатѣ круга отношеніе c

$$O'E' = x' = x;\ E'D' = y' = cy;\ < E\,E'\,D' = j \ldots (1.)$$

Полудіаметръ круга $OA = r$ замѣненъ равнымъ ему полудіаметромъ элипса $O'A' = r$, а горизонтальный полудіаметръ круга $CO = r$ замѣняется въ элипсѣ полудіаметромъ $O'C' = cr$ который сопряженъ съ отвѣснымъ.

Силы дѣйствующія въ элиптической аркѣ должны разлагаться на отвѣсныя и наклонныя составляющія параллельныя $O'A'$ и $O'C'$ вмѣсто отвѣсныхъ и горизонтальныхъ. Пусть P' означаетъ полное отвѣсное, а H' полное наклонное давленіе на которую нибудь четверть элипса $C'A'$ или $A'B'$; въ тоже время H' есть распоръ арки въ A', а P' распоръ въ C' илн B'

$$\left.\begin{array}{c} P' = P = = \\ H' = cH = cP \end{array}\right\} \ldots\ldots (2.)$$
$$pr\ cpr$$

распоры пропорціональны длинѣ параллельныхъ имъ діаметровъ, какъ и прежде.

Назовемъ p'_x величину отвѣснаго давленія на единицу наклонной плоскости, съ нимъ сопряженной; и p'_y величину наклоннаго давленія на сопряженную съ нимъ отвѣсную плоскость; тогда

$$p'_x = \frac{P'}{c\,r} = \frac{p}{c}; p'_y = \frac{H'}{r} = c\,p; c = \sqrt{\frac{p'_y}{p'_x}} \quad \ldots (3.)$$

единичныя величины сопряженныхъ давленій пропорціональны квадратамъ параллельныхъ имъ діаметровъ.

Распоръ въ точкѣ D' пропорціоналенъ діаметру сопряженному съ $O'D'$.

Иногда удобно выразить величину отвѣснаго давленія давленіемъ на единицу горизонтальнаго проложенія той площади, на которую оно производится; такая величина давленія выражается формулою

$$p'_x \sec j = \frac{p}{\cos j} \quad \ldots\ldots (4.)$$

Надобно помнить, что это не есть давленіе на горизонтальную площадь, которой величина равна единицѣ, а давленіе на наклонную площадь, которой горизонтальное проложеніе есть единица. Величина давленія на горизонтальную площадь обратно пропорціональна длинѣ горизонтальнаго діаметра, и прямо пропорціональна величинѣ сопряженнаго съ нимъ діаметра.

Для того чтобъ опредѣлить большую и малую ось элипса $B'A'C'$ надобно сдѣлать слѣдующее геометрическое построеніе.

Провести $O'a$ перпендикулярно и равно $O'A'$, соединить B' съ a; отъ середины линіи $B'a$ т. е. отъ точки m надобно отложить линію $O'm$ вверхъ до p и внизъ до q; $O'p$ и $O'q$ будутъ направленія, а $B'p$ и $B'q$ длины полуосей элипса. Алгебрически это рѣшеніе выражается такъ

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{r}{2}\left\{\sqrt{1+c^2+2c\cos j} + \sqrt{1+c^2-2c\cos j}\right\} \\ B &= \frac{r}{2}\left\{\sqrt{1+c^2+2c\cos j} - \sqrt{1+c^2-2c\cos j}\right\} \end{aligned}\right\} \quad (5.)$$

Уголъ $B'O'p$, который составляетъ ближайшая ось съ діаметромъ $B'C'$ опредѣляется уравненіями

$$\left.\begin{aligned} \sin B'O'p &= \frac{B}{cr}\sqrt{\frac{A^2-c^2r^2}{A^2-B^2}} \\ \sin B'O'p &= \frac{A}{cr}\sqrt{\frac{B^2-c^2r^2}{A^2-B^2}} \end{aligned}\right\} \quad (6.)$$

Первое берется, если ближайшая ось есть большая, а второе если она меньшая.

Во всѣхъ этихъ выраженіяхъ A означаетъ большую и B малую полуось.

136. Арки при нормальныхъ давленіяхъ. Гидростатическая арка. Условія, въ которыхъ находится линейная арка какой бы то ни было формы въ той точкѣ, гдѣ она подвержена нормальному давленію, подобны условіямъ дуговой арки тойже кривизны т. е. *распоръ въ точкѣ, подверженной нормальному давленію равенъ единичной величинѣ нормальнаго давленія, умноженной на радіусъ кривизны.*

Если p есть величина нормальнаго давленія на единицу площади, а ϱ радіусъ кривизны то

$$T = p\varrho \ldots\ldots (1.)$$

Такъ въ элипсѣ (чер. 114.) $B''A''B''$ по уравненію (2.) § 134 распоръ H' въ точкѣ A'' есть cpr, а величина горизонтальнаго давленія на единицу по уравненію (4.) есть $p'_x = p:c$. Полуоси этаго элипса суть r и cr и радіусъ кривизны въ точкѣ A'', концѣ полуоси r, есть $c^2r^2 : r = c^2r$ распоръ будетъ

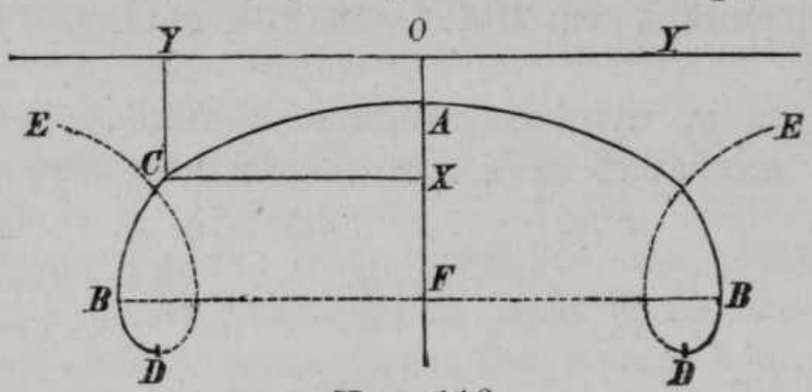
$$H' = \frac{p}{c} c^2 r = cpr$$

Далѣе очевидно, что если давленіе въ всѣхъ точкахъ нормально, то распоръ долженъ имѣть постоянную величину, потому что измѣненіе его можетъ происходить только отъ присоединенія касательнаго напраженія; изъ чего слѣдуетъ *радіусъ кривизны обратно пропорціоналенъ величинѣ давленія.*

Первый примѣръ линейной арки, подверженной давленію нормальному, былъ въ § 133, гдѣ разсматривалась арка при равномѣрномъ жидкомъ давленіи, теперъ будетъ разсмотрѣна *гидростатическая арка,* подверженная нормальному же, но неравномѣрному, давленію, а зависящему въ каждой точкѣ отъ столба воды надъ этой точкой, и слѣдовательно радіусъ кривизны въ каждой точкѣ такой арки обратно пропорціоналенъ глубинѣ ея погруженія.

На чер. 116 YOY есть горизонтальная поверхность, отъ которой давленіе возрастаетъ внизъ пропорціонально разстоянію, какъ это бываетъ въ жидкости, которой поверхность есть YOY; A есть высшая точка арки, ближайшая къ поверхности жидкости, и касательная къ аркѣ въ

этой точкѣ горизонтальна. За начало координатъ примемъ точку O на поверхности жидкости, находящуюся отвѣсно надъ высшей точкой A арки; по этому $OX = CY = x$ есть отвѣсная, $OY = CX = y$ горизонтальная ордината точки c.



Чер. 116.

Назовемъ x_0 наименьшую глубину OA арки, ϱ_0 радіусъ кривизны у точки A, ϱ радіусъ кривизны у точки C; наконецъ w вѣсъ кубической единицы жидкости, равный давленію нагрузки на арку. Единичныя величины внѣшнихъ нормальныхъ давленій на арку въ точкахъ A и C будутъ

$$p_0 = w x_0;\ p = w x \ldots\ldots\ldots (2.)$$

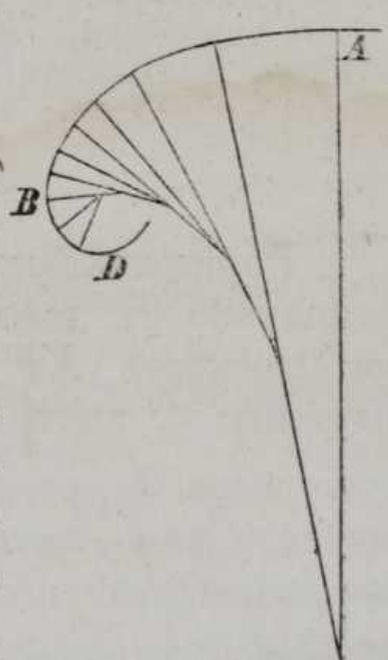
Распоръ арки или внутреннее ея напряженіе, которое должно быть постоянно, есть

$$T = p_0 \varrho_0 = w x_0 \varrho_0 = p \varrho = w x \varrho \ldots\ldots (3.)$$

Откуда выводится уравненіе, выражающее свойство кривой

$$x \varrho = x_0 \varrho_0 \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Когда даны x_0 и ϱ_0, то можно начертить кривую приблизительно, составивши ее изъ дугъ круга, описанныхъ радіусами обратно пропорціональными глубинамъ, какъ это сдѣлано на чер. 117; кривая имѣетъ нѣкоторое сходство съ трохоидой. Въ нѣкоторой точкѣ B она принимаетъ отвѣсное направленіе, а ниже въ точкѣ D горизонтальное, тутъ глубина наибольшая, а радіусъ кривизны наименьшій. Начиная отъ этой точки; она поднимается вверхъ, пересѣкаетъ прежнее очертаніе, образуя узелъ, идетъ далѣе къ точкѣ E, и составляетъ новую дугу совершенно равную BAB. Вѣтви ея, состоя изъ рав-



Чер. 117.

ныхъ дугъ и узловъ, идутъ послѣдовательно, образуя безконечный рядъ.

Очевидно, что для арки годится только одна часть этой кривой между двумя низшими ея точками D и D; и только верхняя дуга BAB можетъ выдерживать отвѣсное давленіе.

Если x_1 и y_1 суть координаты точки B, то весь грузъ лежащій на полуаркѣ AB или давленіе на нее выражается уравненіемъ

$$P_1 = w \int_0^{y_1} x\,dy \ldots\ldots (4.)$$

Распоръ T арки въ точкѣ B равенъ этому грузу, и потому

$$x\varrho = x_0\,\varrho_0 = \int_0^{y_1} x\,dy \ldots\ldots\ldots (5.)$$

Отвѣсный грузъ P въ нѣкоторой точкѣ C, гдѣ кривая наклонена къ горизонту подъ угломъ i, есть составляющая распора

$$\mathrm{P} = w \int_0^{y} x\,dy = \mathrm{T} \sin i \ldots\ldots (6.)$$

Горизонтальное давленіе на полуарку BA одинаково съ давленіемъ жидкости на плоскость AF и уравновѣшивается распоромъ арки въ точкѣ A

$$\mathrm{H} = w \int_{x_0}^{x_1} x\,dx = w\,\frac{x_1^2 - x_0^2}{2} = \mathrm{T} = p\varrho = w\,x_0\,\varrho_0. \quad (7.)$$

откуда получается отвѣсная ордината точки B

$$x_1 = \sqrt{x_0^2 + 2\,x_0\,\varrho_0} \ldots\ldots (8.)$$

Горизонтальное давленіе на часть арки между B и C одинаково съ давленіемъ жидкости, имѣющей вѣскость w, на плоскость XF, которой верхнее ребро погружено на глубину x; такъ что это давленіе равно

$$w \int_x^{x_1} x\,dx = w\,\frac{x_1^2 - x^2}{2} = \mathrm{T} \cos i \ldots (9.)$$

И такъ, всѣ геометрическія свойства гидростатической арки могутъ быть выражены слѣдующею формулою

$$x_0 \varrho_0 = x \varrho = \int_0^{y_1} {}^1 x dy = \frac{\int_0^y x dy}{\sin i} = \frac{x_1^2 - x_0^2}{2} = \frac{x_1^2 - x^2}{2 \cos i} \quad (10.)$$

Для того, чтобы опредѣлить отсюда горизонтальную ординату y, которой найбольшая величина есть y_1, надобно прибѣгнуть къ эллиптическимъ функціямъ, знаніе которыхъ такъ мало распространено, что мы не станемъ ихъ здѣсь употреблять.

Желающіе ближе познакомиться съ рѣшеніемъ этаго вопроса, могутъ обратиться къ запискѣ Г. Ивона Вильярсо въ Mémoires des savants étrangers томъ XII, и Revue de l'Architecture 1845 года.

Для практическаго употребленія достаточны слѣдующія приблизительныя рѣшенія.

Задача. Далы *подъемъ* $AF = a$, и *полуотверстіе* $FB = y_1$ арки: надобно опредѣлить глубину x_0 у вершины, и радіусы кривизны ϱ_0 и ϱ_1 у вершины A и началъ B, начертить дугу и вычислить нагрузку и распоръ.

Приблизительная величина x_0 есть

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= a \frac{a^3}{b^3 - a^3} \\ \text{гдѣ} \qquad b &= y_1 + \frac{y_1^2}{30\,a} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (11.)$$

Такъ какъ $x_1 = OF = x_0 + a$, то изъ уравненія (10.) имѣемъ

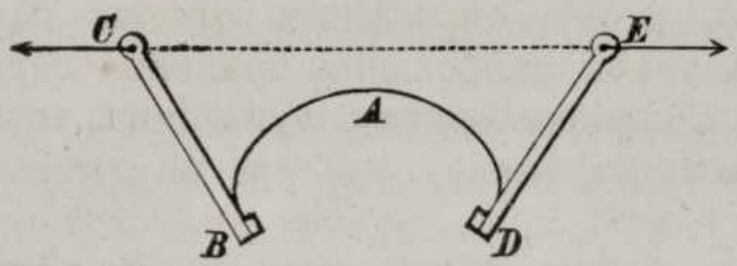
$$\left.\begin{aligned} \varrho_0 &= \frac{x_1^2 - x_0^2}{2\,x_0} = a + \frac{a^2}{2\,x_0} \\ \varrho_1 &= \frac{x_1^2 - x_0^2}{2\,x_1} = a - \frac{a^2}{2\,(x_0 + a)} \end{aligned}\right\} \ldots (12.)$$

по этимъ радіусамъ можетъ быть описана кривая, какъ на чер. 117.

Грузъ, лежащій на полуаркѣ и распоръ, ему равный, могутъ быть опредѣлены по уравненію (7.)

Механическое начертаніе гидростатической арки основано на томъ, что по такой же кривой сгибается стальная пружина, имѣющая по всей длинѣ одинакіе поперечные размѣры. Два конца такой пружины надобно укрѣпить у концевъ B и D двухъ брусьевъ, которыхъ другіе концы

C и E надобно отдалить одинъ отъ другаго (чер. 118): прямая, соединающая точки C и D, будетъ представлять поверхность нагрузки, а пружина BAD гидростатическую арку. Отношеніе между подъемомъ и отверстіемъ измѣ-



Чер. 118.

няется съ перемѣною длины пружины и ея натянутости.

Чтобы получить правильную арку, надобно сперва испытать пружину, хороша ли она т. е. удовлетворяетъ ли условіямъ: когда она не сжата, то должна вытягиватся совершенно въ прямую линію; когда два конца ея сложены вмѣстѣ въ стыкъ и зажаты тутъ щипцами, то пружина должна принять форму круга.

137. Преобразованная гидростатическая или геостатическая арка. Подъ этимъ названіемъ разъумѣютъ линейную арку, могущую выдерживать давленіе подобное давленію земли, которое состоитъ изъ двухъ сопряженныхъ давленій въ отвѣсной плоскости: однаго отвѣснаго и пропорціональнаго глубинѣ точки приложенія подъ горизонтальною или наклонною поверхностью земли, и другаго параллельнаго этой поверхности и находящагося къ первому давленію въ нѣкоторомъ отношеніи, зависящемъ отъ рода земли и другихъ обстоятельствъ.

Горизонтальную или наклонную плоскость, ограничивающую нагрузку будемъ мы называть *сопряженною плоскостью*, а линіи параллельныя линіи наибольшаго ея уклона *сопряженными ординатами:* единичная величина отвѣснаго давленія будетъ считаться на единицу площади сопряженной плоскости, а *сопряженнымъ давленіемъ* будетъ считаться то, которое производится параллельно сопряженной плоскости на *отвѣсную* плоскость, и единичная величина его будетъ расчитываться на единицу отвѣсной площади.

Назовемъ p_x единичную величину отвѣснаго давленія, и p_y сопряженнаго давленія въ какой нибудь точкѣ; построимъ гидростатическую арку для выдержанія жидкаго давленія p_x. Потомъ преобразуемъ эту арку въ другую, сохраняя отвѣсныя координаты гидростатической арки и

измѣняя горизонтальныя координаты въ наклонныя, которыхъ длина должна быть къ длинѣ первоначальныхъ координатъ въ постоянномъ отношеніи

$$c = \sqrt{\frac{p_y}{p_x}} \ldots\ldots (1.)$$

точно также какъ въ элиптической аркѣ преобразованной изъ круговой.

Радіусъ кривизны у начала арки измѣненъ въ отношеніи *1* къ c, а у вершины въ отношеніи c^2 къ *1*.

Пусть P и P' полные отвѣсные грузы на полуаркахъ гидростатической и геостатической; H и H' сопряженные имъ распоры, изъ которыхъ первый горизонталенъ и одинаковъ съ P, второй или горизонталенъ или наклоненъ къ горизонту подъ угломъ j.

Тогда распоръ арки и нагрузка измѣняются въ отношеніи $c\cos j : 1$; и если преобразованная арка изъ того же матеріала то

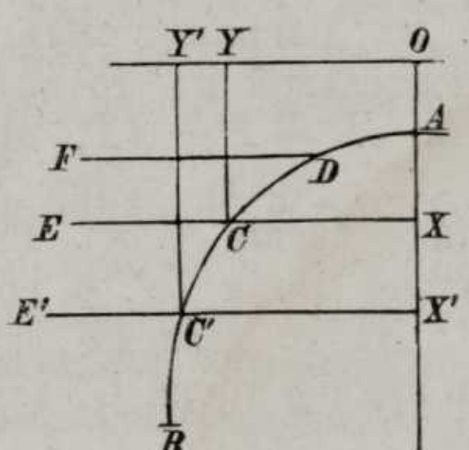
$$P' = c\cos j \cdot P\,;\, H' = c\,P' = c^2 \cos j \cdot P. \ldots\ldots (2.)$$

138. Линейная арка или дуга какой нп будь формы при *отвѣсномъ давленіи, произвольно разпредѣленномъ*, дана по очертанію, надобно опредѣлить систему горизонтальныхъ или наклонныхъ давленій, удерживающихъ ее въ равновѣсіи.

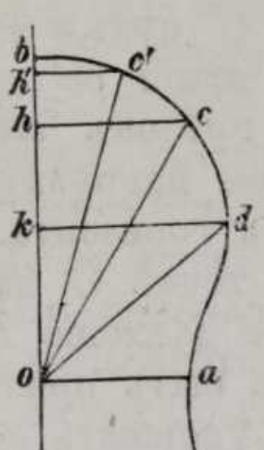
Здѣсь будетъ разсмотрѣнъ только тотъ случай, когда сопряженное давленіе горизонтально и когда нагрузка разположена симметрически относительно вершины арки.

Задача 1. Найти полное горизонтальное давленіе, дѣйствующее ниже данной точки. Вотъ графическое рѣшеніе вопроса, для точки C (чер. 119.)

Въ діаграммѣ (чер. 120) силъ проводится чрезъ точку



Чер. 119.



Чер. 120.

o прямая *oc* параллельная касательной къ аркѣ въ точкѣ *C*, по отвѣсной *ob* откладывается $oh = P$ полное отвѣсное давленіе на часть арки *AC*. Горизонтальная $hc = H$ есть полное горизонтальное давленіе на часть арки ниже точки *C*, а $oc = T$ есть распоръ вдоль арки *y* точки *C*.

Для того, чтобы выразить это алгебрически примемъ точку *O* на отвѣсной *AO* за начало координатъ; линіи $OX = CУ = x$, $OУ = XC = y$ суть координаты *C*; если i есть уголъ наклоненія арки къ горизонту въ точкѣ *C*, то $\operatorname{cotg} i = dy : dx$. И

$$H = P\frac{dy}{dx} = P \operatorname{cotg} i;\ T = \sqrt{P^2 + H^2} = H \operatorname{cosec} i \ldots . (1.)$$

Задача 2. Найти сжиманіе или распоръ въ ключѣ или вершинѣ арки *A*.

Туть нельзя приложить способа, употребленнаго при рѣшеніи первой задачи.

Въ точкѣ *A* дѣйствуетъ отвѣсное давленіе нормально съ аркѣ, и потому сжиманіе по § 133 равно единичной величинѣ этаго давленія умноженной на радіусъ кривизны: полное отвѣсное давленіе, на части арки *CA* было названо *P*, давленіе на элементъ ея у точки *A* есть dP, а ширина элемента dy, по этому величина давленія здѣсь на единицу площади есть $p_0 = dP : dy$ и

$$T_0 = p_0 \varrho_0 \ldots . (2.)$$

Задача 3. Найти среднюю величину горизонтальнаго давленія въ данномъ слоѣ наддужной части, т. е. той массы матеріала, которая находится съ выпуклой стороны арки.

Данъ слой $ECC'E'$ котораго толщина dx, координаты точки C' суть $x + dx$ и $y + dy$: въ діаграммѣ силъ проводится линія oc' параллельно касательной въ точкѣ C', по линіи грузовъ *oh* откладывается $oh' = P + dP$, представляющее нагрузку надъ дугою AC'; чрезъ точку h' проводится горизонтальная $h'c'$ до пересѣченія съ oc'. Распоръ T' въ точкѣ C' выражается длиною линіи oc', а горизонтальное давленіе H' длиною $h'c'$; это то давленіе, которое должно быть приложено въ части арки *y* точки C' для того, чтобы удержать ее въ равновѣсіи

$$hc - h'c' = H - H' = -dH \ldots . (3.)$$

есть горизонтальное давленіе въ слоѣ $ECC'E'$ и единичная величина его есть

$$p_y = -\frac{dH}{dx} = -\frac{d}{dx}\left(P\frac{dy}{dx}\right) \ldots\ldots (4.)$$

Отрицательный знакъ при dH показываетъ, что, когда H уменьшается съ пониженіемъ точки C', какъ въ этомъ примѣрѣ, то въ слоѣ долженъ дѣйствовать распоръ; въ тѣхъ слояхъ гдѣ H увеличивается съ пониженіемъ точки C', должна дѣйствовать натянутость, которая можетъ быть замѣнена давленіемъ изнутри арки.

Задача 4. Найти наибольшій горизонтальный распоръ, точку и уголъ перелома.

Первое рѣшеніе — графическое. Въ діаграммѣ силъ (чер. 120) надобно провести линіи oc, oc' и пр. параллельно касательнымъ къ дугѣ въ разныхъ точкахъ, какъ на C, C' и пр.; по линіи грузовъ ob откладывать разстоянія oh, oh' и пр., выражающія нагрузки надъ частями AC, AC' и т. д., перпендикуляры возставленные изъ точекъ h, h' . . ., пересѣкаясь съ линіями oc, oc' дадутъ точки, которыя надобно соединить кривою линію: точка этой кривой на линіи горизонтальной oa опредѣлится по правилу задачи 2.

Одна изъ точекъ этой кривой, напримѣръ d, будетъ наиболѣе удалена отъ линіи грузовъ ob; горизонтальная dk есть наибольшій распоръ H_0.

На аркѣ (чер. 119) надобно отыскать точку D, въ которой касательная параллельна линіи od, это есть точка перелома, въ которой горизонтальный распоръ имѣетъ наибольшую величину; уголъ, который составляетъ съ горизонтомъ въ этой точкѣ касательная къ аркѣ, называется угломъ перелома, онъ равенъ углу doa на чер. 120, онъ будетъ означаться i_0 въ послѣдствіи.

Второе рѣшеніе — ариѳметическое. По формуламъ, выведеннымъ въ задачѣ 1й вычисляютъ нѣсколько величинъ H для разныхъ точекъ арки. Между наибольшею изъ полученныхъ величинъ для H и двумя ближайшими къ ней, вводятъ промежуточныя точки и снова вычисляютъ величины H, и такъ продолжаютъ приближаться къ наибольшей величинѣ H до тѣхъ поръ, пока достигнутъ требуемой степени приближенія.

Третье рѣшеніе — помощью диференціальнаго изчисленія. Когда отношеніе между y, x и P можетъ быть выражено

уравненіями, то надобно величину горизонтальнаго давленія, полученную изъ уравненія (4.) приравнять нулю; тогда опредѣлиться точка D и величины i_0 и H_0. Обыкновенно получается два корня, при рѣшеніи уравненія, одинъ соотвѣтствуетъ точкѣ A, и другой D; но всегда бываетъ видно, который изъ нихъ нуженъ. Если бы было болѣе двухъ корней, то это значило бы, что есть нѣсколько точекъ для которыхъ $p_y = 0$. Это будутъ точки наибольшаго горизонтальнаго распора если $\frac{d^2 \mathrm{H}}{dx_2}$ отрицательное или $\frac{dp_y}{dx}$ положительное, и наименьшяго распора въ противномъ случаѣ. На дѣлѣ эти случаи встрѣчаются весьма рѣдко.

Если найдется одинъ только корень, то онъ соотвѣтствуетъ вершинѣ арки; гидростатическая арка § 136 представляетъ тому примѣръ, въ ключѣ ея горизонтальный распоръ есть наибольшій. Въ цѣпной линіи § 128 и преобразованной цѣпной § 131, и другихъ кривыхъ равновѣсія при отвѣсныхъ нагрузкахъ § 123, H постоянно и $p_y = 0$ для каждой точки.

Если арка въ начальной своей точкѣ B имѣетъ отвѣсную касательную, то полное горизонтальное давленіе, удерживающее ее въ равновѣсіи, разпредѣлено въ слояхъ наддужной части; такую арку стали съ нѣкотораго времени называть *полною* (complet). Когда же арка начинается въ какой нибудь точкѣ C, гдѣ касательная наклонна, то по крайней мѣрѣ часть наибольшаго горизонтальнаго распора состоитъ изъ горизонтальныхъ составляющихъ сжиманія вдоль арки въ различныхъ ея точкахъ; такая арка называется *пологою* (segmental).

Пусть i_1 означаетъ наклоненіе къ горизонту арки въ начальной ея точкѣ C, а P_1 весь отвѣсный грузъ между этой точкой и ключемъ: горизонтальная составляющая, соотвѣтствующая этому давленію есть P_1 cotg. i_1, такъ что $H_0 - P_1$ cotg i_1 есть давленіе разпредѣленное въ наддужной части.

Задача 5. Найти положеніе равнодѣйствующей наибольшаго горизонтальнаго распора.

Представьте себѣ, что наддужная часть отъ точки D внизъ раздѣлена на слои безконечно малой толщины dx; назовемъ p_y величину горизонтальнаго давленія на арку въ одномъ изъ этихъ слоевъ, который находится ниже линіи OY (чер. 119), на количество x; пусть x_0 означаетъ глу-

бину точки перелома, а x_1 глубину начальной точки арки подъ линіи OY.

Глубина $x_н$ равнодѣйствующей ниже OY можетъ быть выражена одною изъ слѣдующихъ формулъ:

$$x_н = \frac{\int_0^{H_0} x\,dH}{H} = \frac{\int_{x0}^{x1} x\,p_y\,dx + x_1 P_1 \operatorname{cotg} i_1}{H_0} \quad \ldots (5.)$$

1й Примѣръ. Въ цѣпной линіи, преобразованной цѣпной и другихъ линіяхъ равновѣсія при отвѣсныхъ грузахъ

$$H_0 = P_1 \operatorname{cotg} i_1;\ x_н = x_1 \quad \ldots\ldots (6.)$$

2й Примѣръ. Въ полукруглой аркѣ при однообразномъ нормальномъ давленіи p и радіусѣ r; начало координатъ въ вершинѣ арки

$$H_0 = p\,r;\ x_н = \frac{r}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7.)$$

Относительно элиптическихъ арокъ при однообразныхъ сопряженныхъ давленіяхъ смотри § 134.

3й Примѣръ. Въ гидростатической аркѣ чер. 116, какъ въ § 136 начало координатъ взято на внѣшней линіи надъ вершиною арки.

$$H_0 = w\,\frac{x_1^2 - x_0^2}{2};\ x_н = \frac{2}{3}\cdot\frac{x_1^3 - x_0^3}{x_1^2 - x_0^2} \quad \ldots\ldots\ldots (8.)$$

Въ преобразованной гидростатической или геостатической аркѣ, $x_н$ имѣетъ туже величину. Чтоже касается распора тосмотри § 137.

4й Примѣръ. Полукруглая арка съ горизонтальной надстройкой или внѣшней линіей; радіусъ круга r; начало координатъ въ вершинѣ арки; $m\,r$ высота внѣшней линіи надъ вершиной арки или ключемъ; w вѣсъ квадратнаго фута нагрузки.

Возьмемъ какую нибудь точку на аркѣ; координаты ея суть x и y, уголъ который составляетъ съ отвѣсною линіею радіусъ этой точки есть i, поэтому

$$x = r(1 - \cos i);\ y = r \sin i$$

Грузъ надъ частью арки, между этой точкой и вершиной и горизонтальный распоръ суть:

$$\left.\begin{aligned} P_x &= w r^2 \left((1+m) \sin i - \frac{\sin i \cos i}{2} - \frac{i}{2} \right) \\ H = P_y &= P_x \operatorname{cotg} i = w r^2 \left((1+m) \cos i - \frac{\cos^2 i}{2} - \frac{i \cos i}{2 \sin i} \right) \\ p_y &= - \frac{dH}{dx} = w r \left(1 + m \cos i - \frac{i - \cos i \sin i}{2 \sin^3 i} \right) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Чтобы получить уголъ перелома надобно сдѣлать $p_y = 0$ и рѣшить трансцендентное уравненіе по приближенію, первая величина угла i_0 перелома будетъ

$$i_0 = arc\cos \frac{1+3m}{2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10.)$$

Величина наибольшаго распора будетъ

$$H_0 = w r^2 \left\{ (1+m) \cos i_0 - \frac{\cos^2 i_0}{2} - \frac{i_0 \operatorname{cotg} i_0}{2} \right\} \quad (11.)$$

глубина равнодѣйствующей подъ вершиною арки

$$x_н = \frac{r^2}{H_0} \int_{i_0}^{90_0} p_y \sin i \, (1 - \cos i) \, di \quad \ldots\ldots \quad (12.)$$

5й Примѣръ. Въ пологой круговой аркѣ съ горизонтальной надстройкой назовемъ i_1 наклоненіе въ началѣ арки, P_1 отвѣсный грузъ въ этой же точкѣ.

Уголъ перелома i_0 опредѣляется какъ прежде

1й случай $i_0 > i_1$ $H_0 = P_1 \operatorname{cotg} i_1$; $x_н = r (1 - \cos i_1)$ (13.)

2й случай $i_0 < i_1$. Надобно найти H_0 и p_y какъ въ 4м примѣрѣ, затѣмъ

$$x_н = \frac{1}{H_0} \left\{ r^2 \int_{i_0}^{i_1} p_y \sin i \, (1 - \cos i) \, di + P_1 \operatorname{cotg} i_1 \, (1 - \cos i_1) \right\} \quad (14.)$$

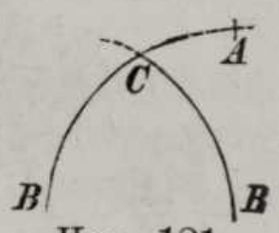
6й Примѣръ. Полуэлиптическая арка съ горизонтальной надстройкой.

Представьте себѣ полукруглую арку, которой радіусъ равенъ подъему элиптической арки, а надстройка на той-же высотѣ, найдите величины H_0 и $x_н$ для полукруглой арки, какъ въ 4м примѣрѣ. Для элиптической арки $x_н$ бу-

детъ имѣть туже величину, а распоръ опредѣлится по правилу преобразованія какъ § 134.

Лучшая форма для овальныхъ полныхъ арокъ есть форма гидростатической арки, которая можетъ быть съ достаточной вѣрностью замѣнена полуэлипсомъ.

139. Стрѣльчатая арка. Если линейная арка состоитъ изъ двухъ дугъ *BC* и *CB* (чер. 121) пересѣкающихся въ точкѣ *C*, то для равновѣсія нужно, чтобы въ точкѣ *C* былъ грузъ, равный тому, который лежалъ бы на частяхъ арокъ отъ *C* до вершинъ ихъ *A*.

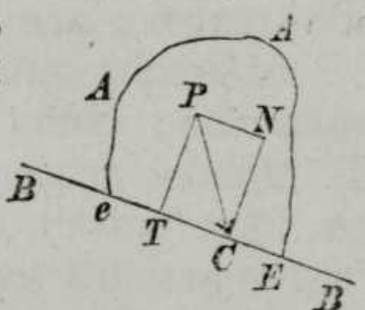


Чер. 121.

Въ статьѣ объ каменныхъ работахъ мы будемъ говорить какъ и при какихъ обстоятельствахъ такая нагрузка ключа въ каменныхъ аркахъ сдѣлается лишнею.

140. Устойчивость штукъ (blocks). Условія устойчивости отдѣльной штуки на плоской поверхности какого нибудь тѣла могутъ быть такъ выражены:

На чер. 122 *AA* есть штука лежащая на плоскости *BB*, *e E* швъ, *C* центръ давленія, *PC* равнодѣйствующая давленія разпредѣленнаго по всему шву, *NC* и *TC* составляющія перпендикуларная къ плоскости шва, и ей параллельная.



Чер. 122.

I. *Отклоненіе давленія должно быть меньше угла покоя* для того, чтобы штука не могла скользить (см. §. 110) или

$$\angle PCN \leq \varphi \ldots\ldots (1.)$$

II. *Отношеніе между разстояніемъ отъ центра давленія до центра фигуры шва и діаметромъ этой фигуры, проходящимъ черезъ оба центра должно быть менье нѣкоторой дроби* для того, чтобы штука не могла опрокинуться; величина дроби измѣняется сообразно обстоятельствамъ, объ которыхъ будетъ говорено въ статьѣ о каменныхъ работахъ, отъ одной до трехъ восьмыхъ; эта дробь называется коефицентомъ устойчивости.

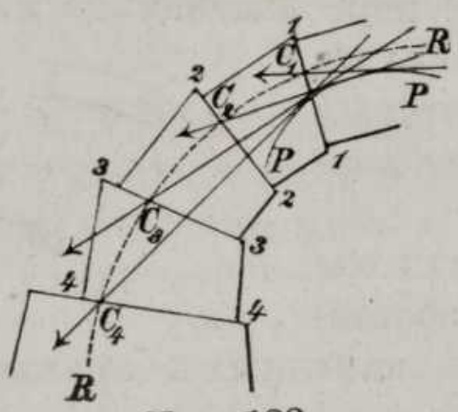
Выполненіе перваго условія есть *устойчивость тренія*, втораго *устойчивость положенія*.

Если строеніе состоитъ изъ ряда штукъ, хотя и не цѣльныхъ, но состоящихъ изъ нѣсколькихъ тѣлъ такъ связанныхъ, что они составляютъ одну штуку, и штуки эти касаются другъ друга въ плоскихъ швахъ, то выше-

изложенныя условія должны быть выполнены для каждой отдѣльной штуки.

На чер. 123 представлено такое строеніе, въ которомъ 1—1, 2—2, 3—3, 4—4 суть швы.

Попожимъ что извѣстенъ центръ C_1 давленія въ швѣ 1—1, извѣстны его величина и направленіе, означенное на чертежѣ стрѣлкой. Къ этому давленію прибавляется вѣсъ штуки 1, 2, 2, 1 вмѣстѣ съ лежащимъ на ней грузомъ; равнодѣйствующая будетъ представлять давленіе въ швѣ 2—2, котораго величина, направленіе, и центръ C_2 будутъ извѣстны. Продолжая также точно можно найти центры давленій C_3, C_4 и т. д., также какъ величину и направленіе давленій.



Чер. 123.

Величину и положеніе равнодѣйствующей въ всякомъ швѣ, и, слѣдовательно, центръ сопротивленія въ этомъ швѣ, можно узнать, взявши просто равнодѣйствующую всѣхъ силъ, дѣйствующія въ одной изъ частей, на которыя строеніе дѣлится этимъ швомъ.

Центры давленій называются также *центрами сопротивленія:* линію RR, проходящую чрезъ центры давленій, Г. Мозлей назвалъ *линіею сопротивленія* и показалъ какъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ находить уравненіе этой линіи и прилагать его къ рѣшенію вопросовъ.

Прямыя линіи, представляющія направленія давленій могутъ быть параллельны, составлять одну прямую или пересѣкаться всѣ въ одной точкѣ: чаще всего случается что линіи эти, пересѣкаясь взаимно, даютъ рядъ точекъ, которыя составляютъ вершины многоугольника; кривую линію PP касательную къ сторонамъ этаго многоугольника Г. Мозлей назвалъ *линіею давленій.*

Для того чтобы строеніе было устойчиво, линіи сопротивленія и давленій должны удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

Для устойчивости положенія нужно, *чтобы линія сопротивленія отклонялась отъ центра фигуры каждаго шва не болѣе извѣстной части протяженія этаго шва по линіи центровъ.*

Для устойчивости тренія нужно, *чтобы уголъ между нормальною къ шву и прямою, касательною къ линіи давле-*

ній и проведенною чрезъ центръ сопротивленія шва, былъ менье угла покоя.

Моментомъ устойчивости тѣла или строенія, опирающагося на плоскость называется моментъ той пары силъ, которая должна быть приложена къ тѣлу въ плоскости отвѣсной для того, чтобы въ соединеніи съ вѣсомъ тѣла перенести центръ сопротивленія въ предѣльное его положеніе, не нарушающее устойчивости; моментъ этотъ равенъ произведенію вѣса тѣла или строенія на разстояніе отвѣсной линіи, проходящей чрезъ его центръ тяжести, отъ крайняго положенія центра сопротивленія въ плоскости основанія или шва, на которомъ оно лежитъ.

Прилагаемая пара есть обыкновенно распоръ фермы или арки, или давленіе земли на строеніе въ соединеніи съ равнымъ ему, противнымъ и параллельнымъ но не прямо противоположнымъ сопротивленіемъ этой боковой силѣ.

141. Преобразованіе штучнаго строенія (blockwork). Если строеніе, состоящее изъ штукъ и подверженное дѣйствію силъ, которыя представляются нѣкоторою системою линій, устойчиво *по положенію*, то устойчивость положенія будетъ существовать и въ такомъ строеніи, которое составляетъ параллельное его проложеніе, когда силы, на него дѣйствующія могутъ быть представлены системою линій, которыя суть параллельныя проложенія линій первой ситемы.

Будетъ ли это строеніе обладать *устойчивостью тренія*, есть вопросъ независимый отъ этаго.

Въ статьѣ объ каменной кладкѣ показаны будутъ приложенія началъ устойчивости штучныхъ строеній.

ОТДѢЛЪ V. КРѢПКОСТЬ МАТЕРІАЛОВЪ.

142. Искаженіе, напряженія, крѣпкость, дѣйствительная нагрузка. Настоящій отдѣлъ содержитъ тѣ законы крѣпкости матеріаловъ, которые нужно знать при проэктированіи строеній. Законы эти изложены безъ доказательствъ, и въ сжатомъ видѣ для того, чтобы избавить строителя отъ необходимости прибѣгать въ обыкновенныхъ случаяхъ къ обширнымъ сочиненіямъ объ этомъ предметѣ.

Нагрузка или внѣшнія силы, дѣйствующія на какую нибудь часть строенія, производятъ въ ней *искаженіе* (strain) т. е. измѣненіе въ объемѣ фигурѣ какъ цѣлой части, такъ

каждой ея частицы, и это сопроваждается внутреннимъ *напряженіемъ* (stress), проявленіемъ между частицами тѣла силъ, сопротивляющихся стремленію нагрузки разрушить тѣло. Если нагрузка увеличивается, то она производитъ *разрушеніе* (fracture) тѣла или такое измѣненіе его формы, если оно состоитъ изъ мягкаго или тягучаго вещества, что тѣло становится негоднымъ къ употребленію.

Разрушающая нагрузка производитъ разрушеніе тѣла какимъ нибудь опредѣленнымъ образомъ, она равна **крайней крѣпкости** (ultimate strength) вещества; **прочная крѣпкость** (proof strength) соотвѣтствуетъ *безопасной нагрузкѣ*, которая производитъ въ тѣлѣ изкаженіе, не нарушающее его прочности. Когда нагрузка превосходитъ прочную крѣпкость вещества, тогда она не производитъ еще мгновеннаго разрушенія тѣла, но это разрушеніе бываетъ слѣдствіемъ продолжительнаго ея дѣйствія или частаго повторенія нагрузки.*)

---

*) Коммиссія для изслѣдованія вопроса объ употребленіи чугуна и женѣза въ сооруженіяхъ на желѣзныхъ дорогахъ сдѣлала рядъ опытовъ надъ повторительными нагрузками т. е. попеременными нагруженіями и облегченіями матеріала; изъ отчета, представленнаго ею въ 1849 году, видно что

1. При поперечныхъ ударахъ чугуннаго бруса, когда каждый ударъ производилъ искаженіе равное одной трети крайнаго искаженія, непосредственно предшествующаго перелому, брусъ выдерживалъ 4000 ударовъ безъ перемѣны; когда же искаженія отъ ударовъ были въ половину противъ крайнихъ искаженій, тогда брусья ломались до полученія 4000 ударовъ.

2. При сгибаніяхъ чугуннаго бруса вращающимся кулакомъ, когда прогибы были въ одну треть крайняго прогиба, тогда брусъ выдерживалъ до 100,000 сгибаній безъ перелома; но когда прогибы доходили до половины крайняго прогиба, то брусья ломались не выдерживая 900 сгибаній.

3. Въ желѣзномъ брусѣ не было замѣтнаго искаженія послѣ производства 10,000 сгибаній посредствомъ вращающагося кулака, когда прилагалась сила вдвое меньшее противъ той, которая производитъ значительный постоянный прогибъ (Журн. Глов. Упр. П. С. и П. З. Томъ XIII. стр. 10).

Г. Фербернъ производилъ опыты надъ дѣйствіемъ дрожаній и продолжительныхъ измѣненій нагрузки на желѣзныя ребра и сообщилъ ихъ въ Іюнѣ 1860 года Британскому Обществу: опыту подвергнута была балка изъ котельнаго желѣза съ заклепками. Когда нагрузка была въ четверо менѣе разрушающей, то балка выдерживала 596,700 послѣдовательныхъ нагруженій безъ чувственнаго искаженія; при увеличеніи нагрузки до двухъ пятыхъ разрушающей силы, послѣ приложенія ея 403,210 разъ оказалось небольшое уве-

Дѣйствительная нагрузка (working load) на каждой части строенія должна быть меньше прочной ея крѣпкости въ нѣкоторомъ къ ней отношеніи, опредѣляемомъ опытами, на случай непредвиденныхъ обстоятельствъ.

Всякое твердое вещество можетъ имѣть столько родовъ крѣпкости, сколько родовъ искаженія или разрушенія оно можетъ потерпѣть.

Нагрузка.	Искаженіе.	Разрушеніе.
Продольная	Разтяженіе (Extension)	Разрывъ (Tearing)
	Сжатіе (Compression)	Раздробленіе (Crushing)
Поперечная	Скашиваніе (Distorsion)	Скалываніе (Shearing)
	Скручиваніе (Twisting)	Свертываніе (Wrenching)
	Прогибъ (Bending)	Переломъ (Breaking).

143. Коефиценты благонадежности бываютъ трехъ родовъ: отношеніе въ какомъ находится разрушающая нагрузка къ прочной, отношеніе разрушающей нагрузки къ дѣйствительной и отношеніе прочной нагрузки къ дѣйствительной.

Если коефицентъ благонадежности не названъ, то онъ разумѣется во второмъ смыслѣ т. е. какъ отношеніе разрушающей нагрузки къ дѣйствительной.

Въ слѣдующей таблицѣ показаны употребляемые при строеніяхъ коефиценты.

Отношенія нагрузокъ:	Разрушающей къ прочной.	Разрушающей къ дѣйствительной.	Прочной къ дѣйствит.
Лучшая сталь	$1\frac{1}{2}$	—	—
Обыкновенная сталь и желѣзо при неподвижномъ грузѣ	2	3	$1\frac{1}{2}$
при подвижномъ грузѣ	2	4 — 6	2 — 3
Желѣзныя строенія съ заклепками	3	6	2
Чугунъ при постоянномъ грузѣ	2 — 3	3 — 4	$1\frac{1}{2}$
„ при подвижномъ грузѣ	3	6 — 8	$2 — 2\frac{2}{3}$
Дерево	3	10	$3\frac{1}{3}$
Камень и кирпичь	2	4 — 10	2 — 5

Почти всѣ произведенные до сихъ поръ опыты надъ матеріалами даютъ ихъ крайнюю крѣпкость. Поэтому при

личеніе постояннаго прогиба; когда нагрузка дошла до двухъ пятыхъ разрушающей силы, то балка разрушилась при 5,175 нагруженій. Послѣдовательныя нагруженія сопровождались значительными искаженіями отъ дрожаній и инерціи.

проэктированіи строеній надобно умножать дѣйствующую въ строеніи нагрузку на коефицентъ втораго рода и давать части строенія крайнюю крѣпкость, соотвѣтствующую полученной разрушающей нагрузкѣ.

144. Опыты надъ крѣпкостью матеріаловъ могутъ производиться двумя разными способами, смотря по цѣли, которая имѣется въ виду.

I. Если матеріалъ будетъ потомъ употребленъ въ дѣло, то пробпая нагрузка никакъ не должна доходить до крайней крѣпкости матеріала т. е. она не должна превосходить прочной его крѣпкости, которая бываетъ отъ одной трети до одной половины крайней крѣпкости. Около двойной нагрузки противъ дѣйствительной достаточно вообще. Надобно избѣгать сотрясеній и ударовъ, особенно при нагрузкахъ близкихъ къ прочной крѣпкости.

II. Если испытываемымъ образцомъ матеріала можно пожертвовать для того, чтобы узнать его крѣпкость, то нагрузку увеличиваютъ до тѣхъ поръ пока матеріалъ разрушится; увеличиваніе нагрузки должно производиться постепенно и очень малыми количествами, особенно когда приближаются къ разрушающей нагрузкѣ для того, чтобы получить точную ея мѣру.

Опредѣленіе прочной крѣпкости гораздо труднѣе и требуетъ больше времени, нежели опредѣленіе крайней крѣпкости, оно можетъ быть сдѣлано слѣдующимъ образомъ: на испытываемый образецъ кладется грузъ и потомъ снимается, это повторяютъ нѣсколько разъ, замѣчая каждый разъ искаженіе образца т. е. сжатіе его, разтяженіе, скручиваніе, скашиваніе или прогибъ. Если это искаженіе не увеличивается чувствительно повтореннымп нагруженіями, то нагрузка не выходитъ изъ предѣловъ прочной крѣпкости. Увеличивая постепенно нагрузки и замѣчая каждый разъ искаженіе образца, можно дойти до такого груза, котораго повторенныя приложенія производятъ увеличеніе искаженія; такой грузъ больше прочной крѣпкости матеріала, которая находится между этимъ грузомъ и передпослѣднимъ.

Прежде полагали что постоянное искаженіе (set), т. е. такое, которое остается послѣ снятія груза, есть признакъ достиженія прочной крѣпкости; но Г. Годжкинсонъ доказалъ, что всякая нагрузка, какъ бы мала она ни была, производитъ постоянное искаженіе.

Опыты надъ сопротивленіемъ брусьевъ и балокъ попе-

речному перелому и осей скручиванію производятся непосредственной нагрузкой или при помощи рычага.

Для испытанія крѣпкости прутьевъ, цѣпей и веревокъ при вытягиваніи, а также матеріаловъ при сжиманіи нужны болѣе сложные и сильные механизмы: обыкновенно употребляютъ для этого гидравлическій прессъ. При вычисленіи производимаго имъ напряженія не слѣдуетъ обращать вниманія на грузы при предохранительномъ клапанѣ и при рукояткѣ нагнѣтательнаго насоса, а опредѣлять величину давленія по манометру Бурдона. Это замѣчаніе относится также къ испытанію паровыхъ котловъ давленіемъ воды.

Изъ опытовъ, произведенныхъ въ Глазгоу Гг. Моремъ и Ренкиномъ кажется, что изъ давленія, указываемаго гидравлическимъ прессомъ, около одной десятой должно быть вычтено на треніе поршня.

Употребленіе гидравлическаго пресса есть самый лучшій изъ приблизительныхъ способовъ опредѣленія вытягивающихъ и сжимающихъ усилій: полученными результатами можно довольствоваться для практическаго примѣненія. Но для точнаго изслѣдованія законовъ крѣпкости матеріаловъ надобно, производя нагрузку на одномъ концѣ испытываемаго образца посредствомъ гидравлическаго пресса, повѣрять ее примѣніемъ на другомъ концѣ системы рычаговъ, употребленной въ Уличскихъ Докахъ и описанной въ сочиненіи Г. Барлоу: On the Strength of Materials.

145. Коефиценты крѣпкости суть количества, выражающія единичную величину напряженія, при которомъ вещество начинаетъ разрушаться послѣ искаженія тѣла извѣстнымъ образомъ; величина эта дается въ единицахъ вѣса на единицу площади поперечнаго сѣченія того слоя частицъ, въ которомъ замѣчается разрушеніе; — а именно въ пудахъ на квадратный дюймъ.

Коефицентовъ крѣпкости есть только же, сколько и родовъ разрушенія вещества; употребленіе ихъ будетъ объяснено въ послѣдствіи, а таблица ихъ помѣщена въ концѣ главы. Однородные коефиценты крѣпкости могутъ быть разной величины, смотря по направленію въ какомъ нагрузка дѣйствуетъ на вещество: такъ крѣпкость дерева при вытягиваніи его по направленію волоконъ гораздо болѣе, нежели когда вытягиваніе производится поперегъ ихъ.

146. Жесткость, гибкость (pliability); **ихъ коефиценты.** Жесткость есть свойство твердыхъ тѣлъ оказывать сопро-

тивленіе измѣненію ихъ фигуры: оно можетъ быть выражено числомъ, которое называется *коефицентомъ* жесткости, и которое показываетъ отношеніе величины напряженія къ величинѣ соотвѣтствующаго ему искаженія, величина же искаженія получается раздѣленіемъ искаженія какого нибудь размѣра тѣла на первоначальную величину этого размѣра. Въ большей части строительныхъ матеріаловъ коефиценты жесткости имѣютъ почти постоянныя величины, когда напряженія не превосходятъ прочной ихъ крѣпкости.

Обратная величина коефиціента жесткости есть *коефиціентъ гибкости.*

Коефицентъ жесткости равенъ отношенію величины напряженія къ величинѣ искаженія.

Коефицентъ гибкости равенъ отношенію величины искаженія къ величинѣ напряженія.

Употребленіе этихъ коефицентовъ будетъ потомъ объясненно, а величины ихъ помѣщены въ концѣ главы.

147. Упругость твердаго тѣла состоитъ изъ жесткости въ соединеніи со свойствомъ возпринимать прежнюю фигуру, когда сила, произведшая искаженіе, устранена или перестала дѣйствовать: если фигура, которую приняло тѣло, совершенно равна той, которую оно имѣло до его нагруженія, то тѣло называется *совершенно упругимъ;* если же остается нѣкоторое *постоянное искаженіе* (set), то тѣло есть несовершенно упругое.

Совершенно упругихъ веществъ нѣтъ, но упругость многихъ веществъ близка къ совершенной, когда нагрузки, которымъ ихъ подвергаютъ, менѣе прочной ихъ крѣпкости, и даже совершенна, когда эти нагрузки очень малы.

Коефицентами упругости называются величины коефицентовъ жесткости, когда напряженія въ такихъ предѣлахъ, что эти коефиценты постоянны, или тѣла имѣютъ совершенную упругость; можно доказать что въ однородномъ твердомъ тѣлѣ можетъ быть *двадцать одинъ* независимыхъ между собою коефицентовъ упругости,*) которые въ тѣлѣ равной упругости во всѣхъ направленіяхъ сводятся на *два:* коефицентъ прямой упругости при сжиманіи и вытягиваніи и коефицентъ при скашиваніи.

Общій вопросъ объ внутреннемъ равновѣсіи упругаго тѣла есть слѣдующій: дана фигура свободнаго твердаго

*) См. Philosophical Transactions 1856—1857.

тѣла, коефиценты его упругости, притяженіе между его частицами, и напряженія дѣйствующія на поверхности: опредѣлить измѣненіе его формы и искаженіе его частицъ. Вопросъ этотъ рѣшается раздѣленіемъ тѣла воображаемыми поверхностями на прямоугольные элементы, относимые къ прямоугольнымъ осямъ координатъ: въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ вопросъ рѣшается проще, посредствомъ сферическихъ, цилиндрическихъ или иныхъ криволинейныхъ координатъ.

Общій вопросъ весьма сложенъ и не имѣетъ еще общаго рѣшенія, приложимаго къ практикѣ; но въ тѣхъ случаяхъ, которые бываютъ на дѣлѣ и объ которыхъ будетъ здѣсь говориться, для рѣшенія его употребляются способы, которые даютъ довольно точные выводы. Многіе изъ этихъ приблизительныхъ способовъ похожи на *способъ сѣченій*, изложенный въ его приложеніи къ фермамъ (§ 122): разсматриваемое тѣло дѣлится воображаемою плоскостью на двѣ части; вычисляютъ силы и пары, дѣйствующія по одну сторону плоскости сѣченія; ихъ приравниваютъ силамъ и парамъ, произходящимъ отъ *полнаго напряженія* частицъ тѣла въ плоскости сѣченія, которое такимъ образомъ будетъ опредѣлено. Для того же чтобы узнать, какъ оно распредѣляется, будетъ ли оно прямое или сдвигающее, предполагаютъ существованіе закона, выводимаго теоретически или изъ опытовъ, хотя и не совсѣмъ вѣрнаго, но близко подходящаго къ правдѣ.

За исключеніемъ нѣкоторыхъ, довольно простыхъ случаевъ, точные способы изслѣдованія посредствомъ уравненій, выражающихъ равновѣсіе силъ и напряженій, были употребляемы только для повѣрки степени точности приблизительныхъ способовъ.

148. Отпоръ (Resilience, Spring) есть количество *механической работы*, которая потребна для того, чтобы произвести напряженіе, соотвѣтствующее прочной крѣпкости вещества: онъ равенъ произведенію *безопаснаго искаженія* на среднюю величину груза, дѣйствующаго во время производства этаго искаженія. т. е. почти на половину безопасной нагрузки.

Нагруженіе дѣлается постепеннымъ увеличиваніемъ груза, постепенно происходитъ и искаженіе, слѣдовательно, если приложить внезапно половину всей нагрузки, то искаженіе было бы то же.

149. Сопротивленіе брусьевъ вытягиванію и разрыву. Крайняя крѣпкость или разрушающая нагрузка бруса при прямомъ и равномѣрномъ его вытягиваніи есть произведеніе *вязкости* (tenacity) матеріала на площадь поперечнаго сѣченія бруса. Если P есть разрушающая нагрузка въ пудахъ, S площадь поперечнаго сѣченія въ квадратныхъ дюймахъ, f вязкость въ пудахъ на квадратный дюймъ, то

$$\mathrm{P} = f\mathrm{S};\ \mathrm{S} = \frac{\mathrm{P}}{f} \ldots\ldots\ldots\ldots (1.)$$

Удлиненіе или *растяженіе* бруса при грузѣ P', меньшемъ прочной крѣпкости, опредѣляется такъ: пусть x есть длина бруса, Δx его удлиненіе, и α отношеніе удлиненія къ первоначальной длинѣ или $\Delta x = \alpha x$, α есть единичное искаженіе.

Назовемъ единичную величину напряженія, производимаго грузомъ P', буквою p, тогда $P' = p\,S$, если E есть коефицентъ упругости, или сопротивленія разрыву, то

$$\mathrm{E} = \frac{p}{\alpha};\ \alpha = \frac{p}{\mathrm{E}};\ \Delta x = \frac{px}{\mathrm{E}} = \frac{\mathrm{P}'x}{\mathrm{ES}} \ldots\ldots (2.)$$

Если f' есть прочная вязкость матеріала и $f'S$ безопасная нагрузка или прочная крѣпкость бруса, то единичное безопасное искаженіе или пропорціональное удлиненіе при безопасной нагрузкѣ есть $f' : E$.

Отпоръ бруса или работа нагрузки при вытягиваніи его до предѣла безопаснаго искаженія, получается такъ: пусть x длина бруса, удлиненіе его при прочной нагрузкѣ будетъ $f'x : E$. Сила дѣйствовавшая при этомъ искаженіи измѣнялась отъ 0 до $f'S$, средняя ея величина была $f'S : 2$ такъ что произведенная ею при разтягиваніи бруса работа была

$$\frac{f'\mathrm{S}}{2} \cdot \frac{f'x}{\mathrm{E}} = \frac{f'^2}{\mathrm{E}} \cdot \frac{\mathrm{S}x}{2} \ldots\ldots (3.)$$

Предстоящее $f'^2 : E$, на которые умножается половина объема бруса, можетъ быть названо *коефицентомъ отпора.*

Внезапное вытягиваніе силою $f'S : 2$ или половиною безъопасной нагрузки произведетъ полное безопасное искаженіе $f' : E$, которое бываетъ слѣдствіемъ постепеннаго на-

груженія бруса до $f'S$. Изъ этаго слѣдуетъ, что брусъ который можетъ подвергаться внезапному нагруженію долженъ имѣть вдвое большую крѣпкость противъ бруса, выдерживающаго постепенное нагруженіе тѣмъ же грузомъ.

Таблицы вязкости и коефицентовъ упругости при разрывѣ находятся въ концѣ главы.

150. Цилиндрическіе котлы и трубки. Пусть r означаетъ радіусъ пустаго цилиндра съ тонкою стѣнкой, какъ напримѣръ пароваго котла; t толщину его стѣнки; f вязкость матеріала въ пудахъ на квадратный дюймъ; p величину давленія на квадратный дюймъ въ пудахъ, потребную для разрыва котла. Эту величину надобно считать въ *шестеро* болѣе дѣйствительнаго давленія т. е. разности между внутреннымъ давленіемъ пара или воды и внѣшнимъ атмосфернымъ давленіемъ въ 16.28 фун. или 0.407 пуд. на квадратный дюймъ.

$$pr = ft \ldots\ldots (1.)$$

ft есть крѣпкость стѣнки, pr по § 133 натянутость ея при нормальномъ давленіи p. Изъ этаго уравненія выводится отношеніе толщины стѣнки къ радіусу котла

$$\frac{t}{r} = \frac{p}{f} \ldots\ldots (2.)$$

151. Сферическія чашки, похожія на округленныя оконечности котловъ, верхняя часть купола пароваго котла и т. п. вдвое крѣпче цилиндрическихъ чашекъ того же радіуса и тойже толщины.

Представимъ себѣ чашку шара, котораго радіусъ r, съ закраиной вокругъ ея основанія; закраина эта прикрѣплена болтами къ подобной же закраинѣ цилиндрической стѣнки или другой сферической чашки. Пусть r' радіусъ основанія чашки, p взрывающее давленіе въ пудахъ на квадратный дюймъ. Число и размѣры болтовъ соединяющихъ закраины должны быть таковы, чтобы для разрыва ихъ нуженъ былъ грузъ

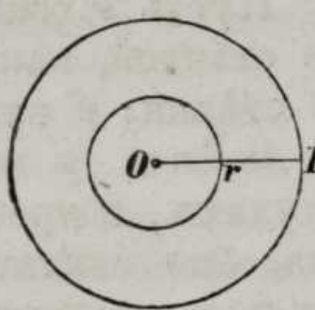
$$3.1416\, r'^2 p \ldots\ldots (1.)$$

Для раздробленія закраины нуженъ въ направленіи, къ ней касательномъ, грузъ

$$\frac{1}{2}\, p r' \sqrt{r^2 - r'^2} \ldots\ldots (2.)$$

Когда чашка полушаровая, тогда $r = r'$ и это выраженіе дѣлается нулемъ.

152. Цилиндры съ толстыми стѣнками. Предположеніе, что натянутость разпредѣлена равномѣрно въ стѣнкѣ цилиндра приблизительно вѣрно только при малой ея толщинѣ сравнительно съ радіусомъ.



Чер. 124.

R внѣшній, r внутренній радіусъ цилиндра, вязкость матеріала f, разрывающій грузъ p, тогда

$$\frac{R^2 - r^2}{R^2 + r^2} = \frac{p}{f} \ldots\ldots (1.)$$

откуда

$$\frac{R}{r} = \sqrt{\left(\frac{f+p}{f-p}\right)} \ldots\ldots (2.)$$

по этой формулѣ, когда даны f, p и r, можно будетъ найти R.

153. Шаръ пустой внутри съ толстыми стѣнками. Сохраняя прежнія значенія для буквъ, будемъ имѣть отношеніе разрывающаго давленія къ вязкости матеріала и отношенія радіусовъ внѣшняго къ внутреннему

$$\frac{p}{f} = \frac{2R^3 - 2r^3}{R^3 + 2r^3} \ldots\ldots (1.)$$

$$\frac{R}{r} = \sqrt[3]{\left(\frac{2f+2p}{2f-p}\right)} \ldots\ldots (2.)$$

154. Боковая гибкость, кубическая сжимаемость. Когда боковыя поверхности бруса свободны и онъ подверженъ вытягивающему усилію по длинѣ, тогда толщина его уменьшается вмѣстѣ съ увеличеніемъ длины, и обратно при продольномъ сжиманіи толщина увеличивается съ уменьшеніемъ длины: это свойство можно назвать *боковою гибкостью* (lateral pliability). Оно принадлежитъ въ высшей степени совершеннымъ жидкостямъ, которыхъ частицы раздаются въ стороны при малѣйшемъ продольномъ напря-

женіи, и въ меньшей мѣрѣ тѣмъ твердымъ тѣламъ, которыя представляютъ болѣе сопротивленія измѣненію фигуры.

Когда есть препятствія къ измѣненію поперечныхъ размѣровъ бруса изъ твердаго вещества, то онъ уступаетъ дѣйствію продольной силы менѣе нежели тогда, когда нѣтъ боковыхъ препятствій; или, иначе говоря, продольная жесткость можетъ быть увеличена по математическому закону, который будетъ здѣсь приведенъ. Крѣпкость его тоже увеличивается, но въ какой степени — это точнымъ образомъ еще не опредѣлено.

Пусть p означаетъ единичную величину продольнаго напряженія, которое находится въ предѣлахъ постояннаго коефицента жесткости. Когда брусъ можетъ свободно измѣнять поперечные свои размѣры, то $\alpha = p : E$ есть изкаженіе его въ длину, а $\beta = p : D$ изкаженіе его діаметра въ сторону противную α т. е. сжатіе, если α есть удлиненіе:

$$p = A\alpha - B\beta \ldots\ldots (1.)$$

A и B суть величины, которыхъ отношенія къ E и D выражаются уравненіями

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{ED(D-E)}{D^2-ED-2E^2} = E + \frac{2E^3}{D^2-ED-2E^2} \\ B &= \frac{E^2D}{D^2-ED-2E^2}; \quad \frac{B}{A} = \frac{E}{D-E} \end{aligned}\right\} (2.)$$

$$E = A - \frac{2B^2}{A+B}; \quad D = A - 2B + \frac{A^2}{B}; \quad \frac{D}{E} = \frac{A+B}{B} \ldots\ldots (3.)$$

Количество A представляетъ сопротивленіе бруса прямому увеличенію длины и уменьшенію ея, когда $\beta = o$, т. е. когда есть препятствія къ измѣненію поперечныхъ размѣровъ бруса.*)

---

*) A есть коефицентъ упругости, выведенный изъ опытовъ надъ скоростью движенія звука въ твердомъ тѣлѣ при большихъ поперечныхъ размѣрахъ посредствомъ формулы

$$A = \frac{W v^2}{32.2}$$

гдѣ v есть скорость звука въ футахъ, w вѣсъ въ пудахъ кубическаго фута вещества, A въ пудахъ на квадратный футъ. При малыхъ поперечныхъ размѣрахъ эта формула дастъ величины, заключающіяся между A и E.

Сопротивленіе измѣненію объема имѣетъ слѣдующія отношенія къ вышеупомянутымъ коефицентамъ. Пусть p означаетъ равномѣрную единичную величину давленія или вытягиванія по всей поверхности тѣла, а δ часть первоначальнаго объема, на которую онъ измѣнился т. е. уменьшился или увеличился; тогда *кубическая упругость* есть

$$\frac{p}{\delta} = \frac{A + 2B}{3} = \frac{3D - 6E}{DE} \quad \ldots\ldots (4.)$$

Обратная этому величина есть *кубическая сжимаемость*. Численныя величины A и B опредѣлены для нѣкоторыхъ только веществъ. Для мѣди и стекла слѣдующія отношенія довольно вѣрны (Annales de chimie, troisième série. Vol. XXIII).

$$\frac{A}{B} = 2; \frac{D}{E} = 3; \frac{A}{E} = \frac{3}{2}; \frac{B}{E} = \frac{3}{4} \quad \ldots\ldots\ldots (5.)$$

Слѣдовательно для этихъ веществъ.

$$\frac{p}{\delta} = \frac{2}{3} A = E \quad \ldots\ldots (6.)$$

155. Высота коефицента есть высота столба соотвѣтственнаго коефиценту вещества, котораго вѣсъ выражаетъ давленіе, равное единичной величинѣ напряженія, выражаемаго коефицентомъ.

Высота коефицента въ футахъ равна отношенію коефицента (въ пудахъ на квадратный футъ) къ вѣскости вещества (вѣсу кубическаго фута вещества въ пудахъ).

156. Сопротивленіе сдвиганію и скошиванію. Нѣкоторыя части строеній какъ то брусья, балки и т. п. подверженныя дѣйствію какаго нибудь бруса, бываютъ связаны съ другими частями строеній болтами, хомутами, схватками, которыя производятъ боковыя напряженія или стремятся перекосить главные брусья, сдвинуть одну часть такого бруса съ другой.

Здѣсь будетъ разсмотрѣнъ тотъ только случай, когда сдвигающее усиліе имѣетъ постоянныя направленіе и величину. Объ сдвигающихъ напряженіяхъ измѣняющейся величины говорено будетъ въ статьѣ объ сопротивленіи сгибу, которое сопровождается напряженіемъ этаго рода; а объ

сдвигающемъ напряженіи съ перемѣнными направленіемъ и величиною будетъ говорено въ статьѣ объ скручиваніи.

Чтобы напряженіе было разпредѣлено равномѣрно нужно, чтобы болтъ, или другая скрѣпа, сидѣли плотно въ своемъ гнѣздѣ, тогда треніе на его поверхности равно будетъ сдвигающему напряженію. Въ этомъ случаѣ величина сдвигающаго усилія выражается частнымъ отъ раздѣленія F на S, то есть сдвигающей силы на сопротивляющуюся площадь.

Въ слѣдствіе сказаннаго въ § 108, ст. III тѣло можетъ дѣйствительно разколоться по направленію параллельному сдвигающему усилію или вытянуться въ направленіи, составляющемъ съ этимъ усиліемъ уголъ въ 45^{o}.

Когда сдвигающая сила находится въ предѣлахъ постоянныхъ коефицентовъ жесткости, тогда она скошиваетъ или перекошиваетъ тѣло, на которое дѣйствуетъ. Назовемъ q величину сдвигающаго напряженія, дѣйствующаго на четырехъ сторонахъ квадратной призматической частицы вещества; она перекосится, и назовемъ v *скошиваніе ея:* это есть *тангенсъ разности между измѣнившимися углами частицы и прямыми углами*

$$\frac{q}{v} = \mathrm{C} \quad \ldots . \quad (1.)$$

C есть коефицентъ поперечной упругости или сопротивленіе скошиванію.

Одинъ изъ способъ выразить скошеніе призмы, имѣвшей прежде квадратное основаніе есть слѣдующій: пусть a означаетъ пропорціональное удлиненіе одной, β пропорціональное сжатіе другой діагонали; скошеніе есть $v = \alpha + \beta$.

Коефицентъ C имѣетъ къ упомянутымъ въ § 154 коефицентамъ слѣдующія отношенія

$$\mathrm{C} = \frac{\mathrm{A} - \mathrm{B}}{2} = \frac{\mathrm{E\,D}}{2(\mathrm{D} + \mathrm{E})} \quad \ldots\ldots\ldots . \quad (2.)$$

Для мѣди и стекла согласно опытамъ Вертгейма

$$\mathrm{C} = \frac{\mathrm{A}}{4} = \frac{\mathrm{B}}{2} = \frac{3\mathrm{E}}{8} = \frac{\mathrm{D}}{8} \quad \ldots\ldots\ldots . \quad (3.)$$

Этотъ коефицентъ C выражаетъ сопротивленіе перемѣнѣ фигуры, которою отличаются твердыя тѣла отъ жидкихъ.

Въ совершенной жидкости

$$C = 0;\ E = 0,\ D = 0,\ A = B = \frac{p}{\delta} \ldots\ldots (4.)$$

Отношеніе p къ δ есть кубическая упругость. Дѣйствіе теплорода на твердыя тѣла состоитъ въ уменьшеніи C и увеличеніи отношенія p къ δ.

157. Сопротивленіе сжиманію и прямому раздробленію. Сопротивленіе *продольному сжиманію*, когда сила менѣе прочной крѣпкости, почти равно сопротивленію вытягиванію и имѣетъ тотъ же коефицентъ: когда она превосходитъ этотъ предѣлъ, то сопротивленіе становится неправильнымъ.

Раздробленіе или разрушеніе тѣла при сжиманіи не есть такое простое явленіе, какъ разрывъ, а болѣе или менѣе сложно и разнообразно, смотря по роду матеріала.

Въ этомъ параграфѣ будетъ говориться только о прямомъ раздробленіи, когда столбы, штуки, распорки или прутья, подвергающіеся сжиманію имѣютъ такую малую длину относительно ихъ толщины, что не имѣютъ стремленія гнуться.

Сюда относятся:

Каменные и кирпичные столбы и штуки обыкновенныхъ размѣровъ.

Столбы, стойки, распорки изъ чугуна, когда длина не болѣе пяти діаметровъ.

Столбы, стойки, распорки изъ желѣза, когда длина ихъ не болѣе десяти діаметровъ.

Столбы, стойки, распорки изъ сухаго дерева, когда длина не болѣе двѣнадцати діаметровъ.

Пусть P означаетъ раздробляющую нагрузку; S площадь поперечнаго сѣченія въ квадратныхъ дюймахъ; f сопротивленіе матеріала разробленію въ пудахъ на квадратный дюймъ, тогда при равномѣрномъ разпредѣленіи груза.

$$P = fS \ldots\ldots (1.)$$

Таблица сопротивленія матеріаловъ прямому раздробленію находится въ концѣ главы.

Если грузъ неравномѣрно разпредѣленъ по площади поперечнаго сѣченіи столба, то крѣпкость его уменьшается въ томъ же отношенія, въ какомъ средняя величина на-

пряженія меньше наибольшей. Для того чтобы опредѣлить это отношеніе, можно принять напряженіе равномѣрно измѣняющимся (§ 106. ур. 5, 6 и 7).

Положимъ что столбъ имѣетъ въ сѣченіи кругъ, квадратъ или правильный многоугольникъ; пусть x_0 наибольшее уклоненіе центра давленія отъ центра фигуры поперечнаго сѣченія или уклоненіе линіи дѣйствія груза отъ оси столба; пусть x_1 означаетъ разстояніе отъ той точки, гдѣ напряженіе имѣетъ наибольшую величину, до оси столба или полудіаметръ столба въ томъ направленіи, въ которомъ линія дѣйствія груза отклоняется отъ оси.

Назовемъ буквою I моментъ инерціи $\int x^2 y\,dx$ поперечнаго сѣченія столба. Раздробляющее усиліе будетъ тогда

$$P = \frac{f S}{1 + \frac{x_0 x_1 S}{I}} \quad \ldots\ldots (2.)$$

Неутральною осью столба называется діаметръ, перпендикулярный къ тому, по которому происходить отклоненіе x_0.

Вотъ величины $\frac{x_1 S}{I}$ для нѣкоторыхъ фигуръ:

I. Прямоугольникъ $b\,h$, неутральная ось b	$\frac{6}{h}$
II. Квадратъ h^2	
III. Элипсъ, неутральная ось b, другая ось h	$\frac{8}{h}$
IV. Кругъ, діаметръ h	
V. Пустой внутри прямоуголникъ; внутреніе размѣры $b'h'$, внѣшніе $b\,h$, неутральная ось b	$\frac{6h(hb - h'b')}{h^3 b - h'^3 b'}$
VI. Пустой внутри ккадратъ $h^2 - h'^2$	$\frac{6h}{h^2 + h'^2}$
VII. Круговое кольцо: внѣшній діаметръ h, внутренній h'	$\frac{8h}{h^2 + h'^2}$

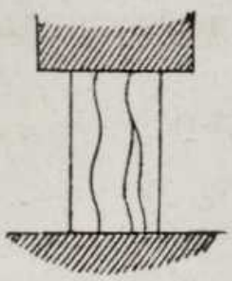
Иногда выгодно, особенно при каменныхъ кладкахъ, такъ отклонить центръ давленія отъ оси столба, чгобы въ немъ нигдѣ не было натянутости или вытягивающихъ силъ. Это условіе выполняется, когда наименьшее давленіе положительное или нуль, а наибольшее давленіе не больше удвоеннаго средняго, тогда

$$P < \frac{fS}{2} \text{ и } x_0 = \frac{I}{x_1 S} \ldots\ldots (3.)$$

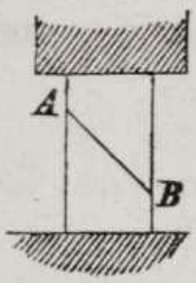
x_0 имѣемъ величины обратныя тѣмъ, которыя приведены выше.

Изъ таблицъ сопротивленія матеріаловъ видно, что коефицентъ сопротивленія прямому раздробленію значительно разнится отъ вязкости. Родъ и величина разницы зависитъ главнымъ образомъ отъ способовъ разрушенія, которые бываютъ слѣдующіе:

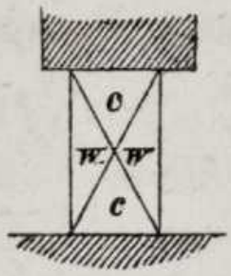
I. *Разтрескиваніе* (splitting) или раздѣленіе на призматическія частія (чер. 125), отдѣляющіяся однѣ отъ другихъ



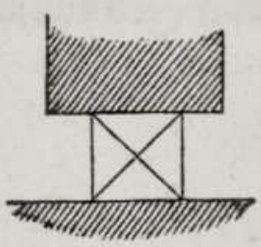
Чер. 125.



Чер. 126.



Чер. 127.



Чер. 128.

поверхностями, которыя вообще параллельны направленію груза, это случается съ твердыми веществами какъ стекло, пережженный кирпичь.

II. *Скалываніе* (sliding) по плоскостямъ наклоннымъ къ направленію груза принадлежитъ веществамъ зернистаго сложенія, каковы чугунъ, большая часть камней и кирпичей.

Иногда скалываніе производитъ по направленію одной плоскости AB (чер. 126); иногда образуются два конуса или двѣ пирамиды c и c (чер. 127), которыя придвигаются одна къ другой и вытѣсняютъ окружающіе ихъ клинья w и w. Иногда штука дѣлится на четыре клина (чер. 128.)

Углы, которые плоскость скалывавнія составляетъ съ радробляющимъ грузомъ, зависятъ отъ рода и качества матеріала по замѣчаніямъ Годжкинсона, который началъ изслѣдованія этаго рода: такъ для нѣкоторыхъ родовъ чугуна уголъ этотъ заключается между 42° и 32°. Сдвигающее усиліе имѣетъ наибольшую величину въ плоскости составляющей съ направленіемъ груза уголъ въ 45°; отклоненіе же плоскости скалыванія отъ этаго угла показываетъ, что сопротивленіе скалыванію заключается не въ одномъ только сцѣпленіи, независимомъ отъ нормальнаго давленія на плоскость скалыванія, но также и въ силѣ подобной трепію и увеличивающейся съ возрастаніемъ нормальнаго давленія.

Годжкинсонъ полагаетъ что для опредѣленія дѣйствительнаго сопротивленія прямому раздробленію, опыты должны быть произвидамы надъ штуками въ которыхъ отношеніе длины къ діаметру должно быть не менѣе 3 къ 2 для того, чтобы матеріалъ могъ свободно раскалываться. Когда штука имѣетъ длину пропорціонально меньшую нежели ея діаметръ, то треніе объ плоскія поверхности, которыми ей передается грузъ, удерживаетъ части ея вмѣстѣ и мѣшаетъ штукѣ расколоться; отчего кажется будто крѣпкость болѣе дѣйствительной.

III. *Сплющиваніе* (bulging) есть увеличеніе въ ширину при раздавливаніи штуки и бываетъ съ мягкими и тягучими матеріалами, каково желѣзо. По причинѣ постепенности, въ которой матеріалы этаго рода уступаютъ сжимающей ихъ силѣ, трудно опредѣлить точнымъ образомъ ихъ сопротивленіе: оно вообще меньше, а иногда даже и гораздо меньше, нежели вязкость. Въ желѣзѣ сопротивленіе раздавливанію, на сколько можно было его опредѣлить, бываетъ отъ $\frac{2}{3}$ до $\frac{4}{5}$ его вязкости.

IV. *Вспучиваніе* (buckling or crippling) происходитъ въ волокнистыхъ вещестахъ, подвергаемыхъ сжиманію вдоль ихъ волоконъ. Оно состоитъ въ томъ, что волокна выгибаются въ сторону, иногда отдѣляясь одно отъ другаго, и бываетъ въ деревѣ, въ желѣзныхъ брускахъ, которые при большой длинѣ не расплюскиваются. Сопротивленіе волокнистыхъ веществъ раздробленію гораздо менѣе ихъ вязкости, особенно когда боковое сцѣпленіе волоконъ слабо.

Сопротивленіе сухаго дерева раздробленію бываетъ отъ $\frac{1}{2}$ до $\frac{2}{3}$ его вязкости; сырость значительно уменьшаетъ боковое сцѣпленіе волоконъ дерева до того, что сопротивленіе раздробленію уменьшается почти ввдвое.

158. Раздробленіе посредствомъ поперечнаго перелома бываетъ съ столбами, колонами и подпорками, которыхъ длина гораздо болѣе ихъ діаметра: при большой нагрузкѣ онѣ сгибаются и потомъ переламываются, подобно балкамъ при сгибающемъ ихъ грузѣ.

Законы этаго рода перелома изслѣдованы были Годжкинсономъ: изъ опытовъ, которыя были имъ произведены, онъ вывелъ слѣдующія формулы.

Когда длина по крайней мѣрѣ въ тридцать разъ болѣе діаметра, пусть h діаметръ въ дюймахъ, L длина въ футахъ, A постоянный коефицентъ, тогда раздробляющій грузъ есть.

$$A \frac{h^{3.6}}{L^{1.7}} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

въ случаѣ пустой внутри колоны или стойки, когда внутреній діаметръ h', внѣшній h, то раздробляющій грузъ равенъ

$$A \frac{h^{3.6} - h'^{3.6}}{L^{1.7}} \ldots\ldots (2.)$$

Коефицентъ A имѣетъ слѣдующія величины.

	пуда.
При сплошныхъ стойкахъ съ округленными концами	924.2
„ „ „ съ плоскими концами	2739,1
При полыхъ съ округленными концами	806.4
„ „ съ плоскими концами	2747.8.

Когда одинъ конецъ столба округленъ, а другой плоскій и стоитъ твердо, то крѣпкость его должна быть средняя между двумя столбами, изъ которыхъ у одного оба конца круглы, а у другаго оба утверждены.

Когда длина менѣе тридцать разъ взятаго діаметра: пусть b означаетъ раздробляющій грузъ вычисленный по предъидущимъ формуламъ, c раздробляющій грузъ коротkаго столба тойже площади сѣченія (среднимъ числомъ 3100 пудовъ умноженныхъ на число квадратныхъ дюймовъ площади поперечнаго сѣченія); тогда раздробляющій грузъ будетъ

$$\frac{4bc}{4b + 3c} \ldots\ldots\ldots (3.)$$

Изъ опытовъ Годжкинсона Г. Люисъ Гордонъ вывелъ слѣдующія формулы.

P есть раздробляющій грузъ длиной стойки или распорки въ пудахъ, S площадь ея поперечнаго сѣченія въ квадратныхъ дюймахъ, l длина, h меньшій діаметръ сѣченія, послѣднія двѣ величины въ одинакихъ единицахъ.

$$P = \frac{fS}{1 + a \frac{l^2}{h^2}} \ldots\ldots (4.)$$

Вотъ величины f и a для колонъ, оканчивающихся плоскими базами и капителями и твердо стоящихъ

Желѣзо $f = 996.87$ $a = \frac{1}{3000}$

Чугунъ $f = 2215.27$ $a = \frac{1}{400}$

Когда оба конца столба скруглены или связаны по концамъ съ другими частями

$$P = \frac{fS}{1 + 4a\frac{l^2}{h^2}} \ldots\ldots (5.)$$

При употребленіи этихъ формулъ отношеніе l къ h задается напередъ съ такой степенью приближенія, чтобы можно было начать вычисленія.

Въ машинахъ и фермахъ желѣзнымъ брусьямъ, служащимъ распорками, для того, чтобы они менѣе гнулись, даютъ разныя формы въ поперечномъ сѣченіи, таковы угловое желѣзо, тавровое, двойное тавровое, желобчатое (channel iron). Какую бы форму ни имѣлъ желѣзный брусъ, h есть тотъ діаметръ описаннаго треугольника или четыреугольника, въ направленіи котораго брусъ можетъ скорѣе всего согнуться.

Желѣзныя трубы (cells) прямоугольныя или квадратныя состоятъ изъ четырехъ листовъ котельнаго желѣза, приклепанныхъ къ угловому желѣзу по угламъ. Крайняя крѣпкость листовъ при раздробленіи ихъ вспучиваніемъ, когда толщина ихъ не менѣе одной тридцатой доли діаметра трубы, по опытамъ Ферберна и Годжкинсона есть 747.66 пуда на квадратный дюймъ.

Но когда нѣсколько трубъ соединены боками, то крѣпкость ихъ возрастаетъ и бываетъ отъ 914.39 до 996.87 пудъ на квадратный дюймъ; послѣдній коефицентъ относится и къ цилиндрическимъ трубамъ.

Годжкинсонъ даетъ слѣдующую формулу раздробляющаго груза распорокъ изъ дуба и сосны, когда онѣ подвергаются раздробленію переломомъ,

$$P = A\frac{h^2}{l^2}S \ldots\ldots (6.)$$

S есть площадь поперечнаго сѣченія въ квадратныхъ дюй-

махъ, $h : l$ отношеніе наименьшаго діаметра сѣченія къ длинѣ, A равно 83072 пуда на кв. дюймъ.

Коефицентъ благонадежности для дѣйствующаго груза въ деревѣ есть 10.

Въ случаѣ квадратной стойки или распорки формула обращается въ

$$P = A \frac{h^4}{l^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7.)$$

Когда крѣпкость деревяной стойки вычислена по этой формулѣ, то надобно сравнить ее съ тою, которая получается по формулѣ прямаго раздробленія

$$P = fS \quad \ldots\ldots (8.)$$

и принять за истинную ту, которая менѣе.

159. Сопротивленіе трубъ сдавливанію. Когда тонкій, пустой внутри, цилиндръ подвергается давленію снаружи, то онъ можетъ быть раздавленъ (collapse); величина раздавливающую груза слѣдуетъ, по опытамъ Ферберна, такому закону:

Она обратно пропорціональна длинѣ; обратно пропорціональна діаметру; прямо пропорціональна квадрату толщины или точнѣе такой ея степени, которой показатель есть 2.19. Законъ этотъ выражается слѣдующей формулою, по которой опредѣляется сдавливающій грузъ для желѣзной прогарной трубки пароваго котла; l есть ея длина, d діаметръ, t толщина стѣнки; всѣ три въ одинакихъ единицахъ длины, а грузъ p въ пудахъ на квадратный дюймъ.

$$p = 267.825 \frac{t^2}{ld} \quad \ldots\ldots (1.)$$

а когда t и d въ дюймахъ а l въ футахъ, то

$$p = 22.319 \frac{t^2}{ld} \quad \ldots\ldots (2.)$$

Усиливъ трубы кольцами изъ угловаго желѣза или тавроваго, Г. Ферберъ нашелъ, что въ формулу надобно вводить вмѣсто всей длины трубы разстоянія между кольцами. Онъ нашелъ также, что при опредѣленіи крѣпкости трубы элиптическаго сѣченія надобно вводить въ эту формули діаметръ соприкасающагося круга въ вершинахъ

малой оси элипса; если a есть большая, b малая полуось то въ формулу вводится

$$d = \frac{2\,a^2}{b} \ldots\ldots\ldots (3.)$$

160. Дѣйствіе поперечнаго груза на балку. Въ § 112 показано было, какъ опредѣлить отношенія между равнодѣйствующею полнаго груза, обременяющаго балку, и двумя поддерживающими ее силами: здѣсь будетъ разсматриваться только тотъ случай, когда грузъ и поддерживающія силы параллельны между собою и находятся въ одной плоскости. Въ § 122 объяснено было какъ опредѣляются напряженія брусьевъ фермы, разрѣзанныхъ плоскостью сѣченія, посредствомъ силъ и паръ, дѣйствующихъ въ одной изъ частей фермы, на которыя она раздѣлена плоскостью сѣченія; способъ этотъ будетъ здѣсь приложенъ.

Для того чтобы опредѣлить дѣйствіе поперечнаго груза на балку, можно употребить этотъ способъ съ тою только разницею, что напряженіе въ плоскости сѣченія, которое нужно теперь узнать, не состоитъ изъ конечнаго числа силъ, дѣйствующихъ по направленію осей нѣкоторыхъ брусьевъ, а есть напряженіе, разпредѣленное по поверхности сѣченія и измѣняющееся не только въ величинѣ, но даже иногда и въ направленіи.

Грузъ будетъ приниматься состоящимъ изъ вѣсовъ, дѣйствующихъ отвѣсно внизъ; поддерживающія усилія также отвѣсны: ось балки, перпендикулярная къ линіямъ дѣйствія силъ, будетъ горизонтальна. Всѣ выводы, къ которымъ будемъ приведены, прилагаются къ тѣмъ случаямъ, когда балка и грузы наклонны, они должны быть только взаимно перпендикулярны.

Примемъ какую нибудь точку продольной оси балки за начало координатъ и представимъ себѣ отвѣсную плоскость, находящуюся въ горизонтальномъ разстояніи x' отъ начала координатъ, и раздѣляющую балку на двѣ части.

Пусть F означаетъ равнодѣйствующую всѣхъ отвѣсныхъ силъ, какъ обременяющихъ такъ и поддерживающихъ балку, дѣйствующихъ съ лѣвой стороны плоскости сѣченія, и пусть x'' есть ея разстояніе отъ начала координатъ.

Если балка на столько крѣпка, что можетъ выдержать дѣйствующія на нее силы, то образуется сдвигающее на-

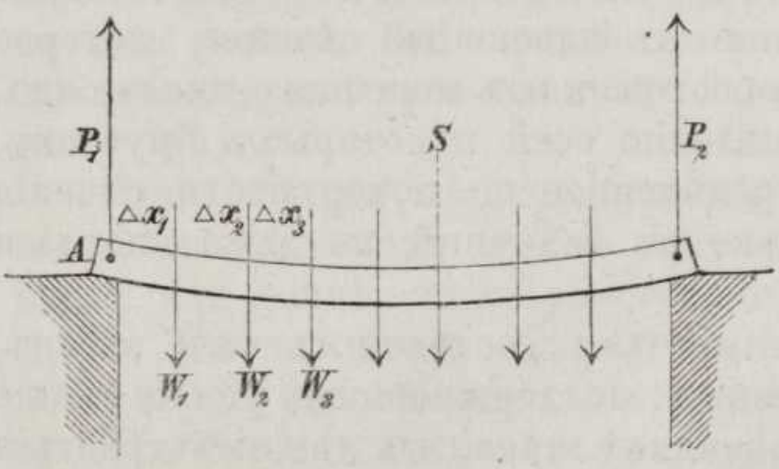
пряженіе равное и противоположное F, разпредѣленное въ отвѣсной плоскости сѣченія; какъ оно распредѣлено объ этомъ будетъ говорено послѣ; это сдвигающее напряженія или отвѣсное сопротивленіе вмѣстѣ съ силою F составляютъ пару, которой моментъ есть

$$M = F(x'' - x') \ldots\ldots (1.)$$

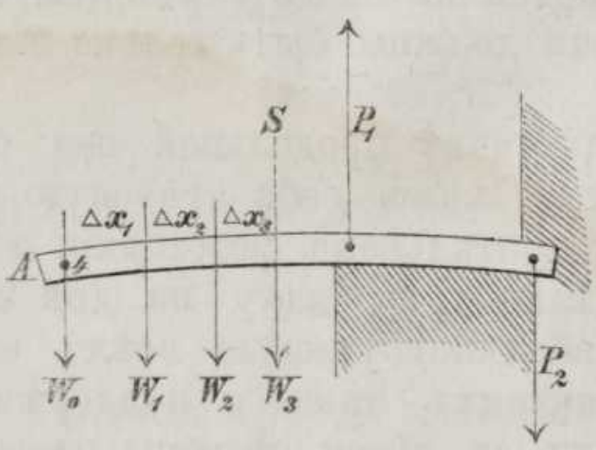
Онъ называется *моментомъ сгиба* балки въ плоскости сѣченія; ему сопротивляются прямыя напряженія балки въ этой же плоскости, какъ будетъ объяснено въ послѣдствіи; моментъ этотъ стремится прямолинейную ось балки сдѣлать выпуклою въ ту сторону, въ которую дѣйствуетъ сила F.

Математическіе способы опредѣленія F и M для какого бы то ни было сѣченія балки, хотя всѣ основаны на однихъ началахъ, но различаются въ подробностяхъ. Вотъ самый удобный изъ нихъ.

На чер. 129 представлена балка, поддержанная на концахъ и нагруженная на пространствѣ между ними, а чер. 130 представляетъ балку поддержанную и укрѣпленную однимъ концомъ и нагруженную на другомъ, выступающемъ концѣ: поддерживающія усилія въ обоихъ случаяхъ суть P_1 и P_2; W_1, W_2, W_3 суть грузы; Δx_1, Δx_2, Δx_3 части балки, на которыя она дѣлится линіями дѣйствія этихъ грузовъ, наконецъ W_0 въ чер. 130 есть грузъ дѣйствующій на концѣ балки.



Чер. 129.



Чер. 130.

На обоихъ чертежахъ показано, что грузы дѣйствуютъ въ отдѣльныхъ точкахъ; но когда грузъ разпредѣленъ равномѣрно, то каждая часть балки будетъ имѣть безконечно малую длину dx, и грузъ будетъ $w\,dx$, если w есть грузъ на погонной единицѣ длины.

Вычисленіе будетъ состоять изъ слѣдующихъ пріемовъ.

1й пріемъ. Найти поддерживающія усилія. Принявши какую нибудь прилично избранную точку горизонтальной оси за начало координатъ, надобно найти разстояніе x_0 отъ начала до равнодѣйствующей груза или по правилу VIII, § 97, когда грузы дѣйствуютъ въ отдѣльныхъ точкахъ, или по правилу V § 104 при равномѣрномъ распредѣленіи груза; т. е.

$$x_0 = \frac{\Sigma x \mathrm{W}}{\Sigma \mathrm{W}} \text{ или } x_0 = \frac{\int w x dx}{\int w dx} \quad \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Потомъ по правилу § 112, надобно опредѣлить поддерживающія усилія P_1 и P_2; если x_1 и x_2 разстоянія отъ точекъ опоры до начала координатъ, то

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{P}_1 &= \frac{x_2 - x_0}{x_2 - x_1} \Sigma \mathrm{W} \text{ или } \mathrm{P}_1 = \frac{x_2 - x_0}{x_2 - x_1} \int w dx \\ \mathrm{P}_2 &= \frac{x_0 - x_1}{x_2 - x_1} \Sigma \mathrm{W} \text{ или } \mathrm{P}_2 = \frac{x_0 - x_1}{x_2 - x_1} \int w dx \end{aligned}\right\} \ldots (3.)$$

величины x_0, x_1, x_2 должны быть вводимы съ соотвѣтственными знаками.

2й пріемъ. Найти сдвигающія усилія въ разныхъ сѣченіяхъ балки. — Гдѣ бы прежде ни было взято начало координатъ, его надобно теперь перенести на конецъ балки въ точку A, въ одну изъ точекъ опоры, когда балка опирается обоими концами, или въ висячій ея конецъ, когда она укрѣплена однимъ концомъ. Силы, дѣйствующія вверхъ считаются положительными, а внизъ отрицательными.

Сдвигающее напряженіе въ каждомъ сѣченіи есть равнодѣйствующая грузовъ лежащихъ на балкѣ между началомъ координатъ и этимъ сѣченіемъ, такъ что въ тѣхъ точкахъ, гдѣ дѣйствуютъ силы P_1, W_1, W_2, W_3 (чер. 129) будутъ сдвигающія напряженія

$$\mathrm{F}_0 = \mathrm{P}_1; \ \mathrm{F}_1 = \mathrm{P}_1 - \mathrm{W}_1; \ \mathrm{F}_2 = \mathrm{P}_1 - \mathrm{W}_1 - \mathrm{W}_2;$$
$$\mathrm{F}_3 = \mathrm{P}_1 - \mathrm{W}_1 - \mathrm{W}_2 - \mathrm{W}_3$$

вообще $$\mathrm{F} = \mathrm{P}_1 - \Sigma \mathrm{W} \quad \ldots\ldots\ldots (4.)$$

тамъ гдѣ дѣйствуютъ грузы W_0, W_1, W_2, W_3 (чер. 130) напряженія будутъ

$$-\mathrm{F}_0 = \mathrm{W}_0; \ -\mathrm{F}_1 = \mathrm{W}_0 + \mathrm{W}_1; \ -\mathrm{F}_2 = \mathrm{W}_0 + \mathrm{W}_1 + \mathrm{W}_2;$$
$$-\mathrm{F}_3 = \mathrm{W}_0 + \mathrm{W}_1 + \mathrm{W}_2 + \mathrm{W}_3$$

вообще $$-\mathrm{F} = \Sigma \mathrm{W} \ldots\ldots\ldots (5.)$$

въ случаѣ разпредѣленія груза по всей балкѣ, опирающейся обоими концами

$$\mathrm{F} = \mathrm{P}_1 - \int_0^{x'} w\,dx \ldots\ldots (6.)$$

а укрѣпленной однимъ концомъ

$$-\mathrm{F} = \int_0^{x'} w\,dx \ldots\ldots (7.)$$

въ этихъ выраженіяхъ x' означаетъ разстояніе плоскости сѣченія отъ начала A. Знакъ — при F показываетъ, что сдвигающее напряженіе направлено внизъ.

Наибольшее сдвигающее напряженіе бываетъ у одной изъ двухъ точекъ опоры и равно P_1 или P_2; въ балкѣ укрѣпленной однимъ концомъ, наибольшее напряженіе дѣйствуетъ у ближайшей точки опоры и равно величинѣ полнаго груза.

Когда балка поддержана по обоимъ концамъ, то сдвигающее усиліе исчезаетъ въ нѣкоторомъ сѣченіи, которое опредѣлится, когда приравняютъ F нулю въ уравненіяхъ (4.) или (6.)

3й пріемъ. Найти моменты сгиба въ разныхъ сѣченіяхъ балки. Въ началѣ координатъ A нѣтъ момента сгиба. Надобно умножить сдвигающее напряженіе F, дѣйствующее на внѣшнемъ концѣ нѣкоторой части балки, на длину Δx этой части балки; произведеніе будетъ моментъ сгиба у внутренняго конца этой части. Къ нему придаются произведенія сдвигающихъ напряженій на длины соотвѣтственныхъ частей балки и тогда получатся рядъ моментовъ сгиба. Способъ этотъ въ сущности тотъ же самый, который употребилъ Г. Летемъ въ сочиненіи своемъ On iron bridges для вычисленія напряженій въ полураскосной рѣшоткѣ.

Моменты сгиба суть

у точки $\mathrm{A} = 0$

у линіи дѣйствія груза W_1; $M_1 = \mathrm{F}_0\,\Delta x_1$.

у линіи дѣйствія груза W_2; $M_2 = F_0\,\Delta x_1 + F_1\,\Delta x_2$

у линій дѣйствія груза W_3; $M_3 = F_0\Delta x_1 + F_1\,\Delta x_2 + F_2\,\Delta x_3$

вообще $$\mathrm{M} = \Sigma \mathrm{F}\,\Delta x \ldots\ldots (8.)$$

при равныхъ разстояніяхъ между грузами

$$M = \Delta x \Sigma F \ldots\ldots (9.)$$

а при распредѣленіи груза по всей балкѣ

$$M = \int_0^x F\,dx \ldots\ldots (10.)$$

Эти три уравненія (8.), (9.) и (10.) прилагаются къ балкамъ опирающимся обоими или однимъ концомъ. При подстановкѣ въ уравненіи (10.) величинъ F изъ уравненій (6.) и (7.) получаются слѣдующія величины:

Для балки опирающейся обоими концами

$$M = P_1 x' - \int_0^{x'}\int_0^x w\,dx = P_1 x' - \int_0^{x'} (x' - x)\,w\,dx \ldots (11.)$$

Для балки поддержанной на одномъ концѣ

$$-M = \int_0^{x'}\int_0^x w\,dx = \int_0^{x'} (x' - x)\,w\,dx \ldots (12.)$$

Знакъ — при второмъ моментѣ показываетъ, что онъ дѣйствуетъ внизъ.

Наибольшій моментъ сгиба въ балкѣ утвержденной однимъ концомъ бываетъ у внѣшней точки опоры; а въ балкѣ поддержанной у обоихъ концовъ въ томъ сѣченіи, для котораго F есть нуль.

Когда грузъ разпредѣленъ симмемрически относительно средняго сѣченія балки, то наибольшій моментъ сгиба находится въ этомъ сѣченіи; и очень часто удобно принять за начало координатъ ту точку оси балки, которая находится въ этомъ сѣченіи.

4й пріемъ. Найти дѣйствіе многихъ вмѣстѣ дѣйствующихъ грузовъ на балку, когда дѣйствіе каждаго отдѣльнаго груза извѣстно. Для каждаго поперечнаго сѣченія сдвигающее напряженіе есть сумма сдвигающихъ напряженій, производимыхъ отдѣльными грузами, а моментъ сгиба есть сумма моментовъ сгиба отдѣльныхъ грузовъ.

5й пріемъ. Вывесть сдвигающія напряженія и моменты сгиба балки по даннымъ этимъ величинамъ для другой балки, подобнымъ же образомъ поддержанной и нагруженной. Это дѣлается на основаніи слѣдующаго начала.

Когда балки различны по длинѣ и величинѣ лежащихъ на нихъ грузовъ, но подобными образами поддержаны

и имѣютъ грузы подобнымъ образомъ расположенные, то сдвигающія напряженія въ соотвѣтственныхъ сѣченіяхъ измѣняются пропорціонально полнымъ грузамъ, а моменты сгибовъ, какъ произведенія грузовъ на длины.

Это начало можетъ быть выражено знаками по одному изъ слѣдующихъ двухъ способовъ.

Первый способъ. Длины двухъ балокъ l и l'; полные грузы на нихъ W и W' подобно расположенные; F и F' сдвигающія силы, M и M' моменты сгиба въ подобно расположенныхъ сѣченіяхъ обѣихъ балокъ; тогда

$$W : W' = F : F' \ldots\ldots\ldots (13.)$$

$$l W : l' W' = M : M' \ldots\ldots\ldots (14.)$$

Второй способъ. Пусть k и m два числа, зависящія отъ способа укрѣпленія балки, расположенія груза и положенія разсматриваемаго поперечнаго сѣченія тогда

$$F = k W \ldots\ldots\ldots\ldots (15.)$$

$$M = m W l \ldots\ldots\ldots\ldots (16.)$$

Грузы, лежащія на балкахъ выражаются обыкновенно въ пудахъ; длины въ футахъ или дюймахъ, по этому моменты выражаются въ *пудо-футахъ* или *пудо-дюймахъ;* пудо-дюймы тѣмъ удобнѣе пудо-футовъ, что поперечныя сѣченія балокъ даются въ квадратныхъ дюймахъ, и коефиценты крѣпкости таже бываютъ въ пудахъ на квадратный дюймъ. Одинъ пудо-футъ содержитъ двѣнадцать пудо-дюймовъ.

161. Примѣры дѣйствія поперечнаго груза на балку. помѣщены въ прилагаемой таблицѣ. Въ этихъ примѣрахъ l означаетъ для балки, укрѣпленной однимъ концомъ, разстояніе отъ внѣшней точки опоры до точки приложенія крайняго груза, а для балки, поддержанной на обоихъ концахъ, всю длину пролета или разстояніе между точками опоры; W есть полный грузъ; F и M суть сдвигающая сила и моментъ сгиба въ поперечномъ сѣченіи, находящемся въ разстояніи x' отъ начала координатъ, въ которомъ, подобно предъидущему параграфу, $M=0$; F_1 есть наибольшая сдвигающая сила; x'_1, положеніе того сѣченія, въ которомъ она дѣйствуетъ; M_0 наибольшій моментъ сгиба; x'_0 положеніе того сѣченія, къ которому онъ относится; k и m множители употребленные въ уравненіяхъ (15.) и (16.) для

тѣхъ сѣченій, гдѣ дѣйствуютъ наибольшая сдвигающая сила и наибольшій моментъ сгиба, т. е.

$$F_1 = k\,W;\; M_0 = m\,Wl \ldots\ldots (1.)$$

Для того, чтобы преобразовать формулы этой таблицы, относящіяся къ случаямъ отъ IV до VII, въ такія, которыя бы соотвѣтствовали координатамъ, измѣряемымъ отъ средины балки, назовемъ c длину полубалки и подставимъ $2c$, $x' - c$, $x'_1 - c$, $x'_0 - c$ и $x'' - c$, вмѣсто l, x', x'_1, x'_0 и x'' во всѣ эти формулы.

Въ послѣднемъ VIII случаѣ балка, поддержанная съ обоихъ концовъ, нагружена въ точкахъ, находящихся въ равныхъ, одна отъ другой, разстояніяхъ, которыхъ число есть N, длина каждаго дѣленія равна $l:N$. Такъ какъ начало координатъ находится въ точкѣ опоры, то плоскость сѣченія находится всегда за n — мъ дѣленіемъ отъ этой точки.

Случай IX. Подвижной грузъ. Балка длиною l поддержана на двухъ концахъ; постоянный грузъ величиною w на погонный футъ разпредѣленъ по всей ея длинѣ; времянной грузъ величиною w' на погонный футъ всходитъ постепенно на балку, занимаетъ ее изъ конца въ конецъ и потомъ оставляетъ ее, уходя съ другаго конца.

Узнать найбольшую сгибающую силу въ каждомъ сѣченіи, и наибольшій моментъ сгиба.

Наибольшая сдвигающая сила въ каждомъ сѣченіи бываетъ тогда, когда длиннѣйшая изъ частей, на которыя она дѣлитъ балку, поддерживаетъ времянной и постоянный грузъ, а другая кратчайшая часть обременена только постояннымъ грузомъ. Пусть F^1 означаетъ эту силу, x разстояніе до ближайшаго конца балки

$$\mathrm{F}' = w\left(\frac{l}{2} - x\right) + \frac{w'(l-x)^2}{2l} \ldots (2.)$$

Эта формула можетъ быть сдѣлана болѣе симметричною, когда за начало координатъ принята будетъ средина балки. Пусть x' означаетъ разстояніе разсматриваемаго сѣченія отъ средины балки, а c половину длины балки, тогда $x = c - x'$ и

$$\mathrm{F}' = w\,x' + \frac{w'(c+x')^2}{4c} \ldots\ldots (3.)$$

Наибольшій моментъ сгиба будетъ во всякомъ сѣченіи

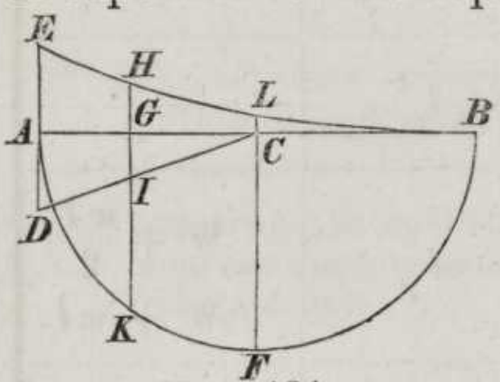
Случаи.	F	x'_1
A. Балка укрѣпленная однимъ концомъ.		
I. Грузъ W на концѣ	$-W$	вездѣ
II. Равномѣрный грузъ величиною $w = W : l$	$-w\,x'$	l
III. Равномѣрный грузъ величиною w и прибавочный грузъ W' на концѣ	$-W' - w\,x'$	l
Б. Балка поддержанная у обоихъ концовъ.		
IV. Грузъ W по срединѣ.		
Ближайшая къ началу полубалка	$\frac{W}{2}$	0
Дальнѣйшая полубалка . . .	$-\frac{W}{2}$	l
V. Грузъ W на разстояніи x''		
между x'' и началомъ . . .	$\frac{l-x''}{l}W$	вездѣ
далѣе x''	$-\frac{x''\,W}{l}$	вездѣ
VI. Равномѣрный грузъ величиною $w = W : l$	$w\left(\frac{l}{2} - x'\right)$	0 и l
VII. Грузъ равномѣрный на части балки отъ 0 до x'' величиною $w = W : x''$		
между x'' и началомъ . . .	$w\left(x'' - \frac{x''^2}{2\,l} - x'\right)$	0
далѣе x''	$-\frac{w\,x''^2}{2\,l}$	
VIII. Отдѣльныя точки въ разстояніи $\frac{l}{N}$ одна отъ другой имѣютъ грузы w;	$\left(\frac{N-1}{2} - n\right)w$	0 или N—1
общій грузъ w (N—1)		

k	M	x'_0	m
-1	$-\mathrm{W}\,x'$	l	-1
-1	$-\frac{w\,x'^2}{2}$	l	$-\frac{1}{2}$
-1	$-\mathrm{W}'\,x' - \frac{w\,x'^2}{2}$	l	$-\frac{\mathrm{W}' + \frac{w\,l}{2}}{\mathrm{W}' + w\,l}$
$\frac{1}{2}$ $-\frac{1}{2}$	$\left.\begin{array}{l}\frac{\mathrm{W}\,x'}{2}\\ \frac{\mathrm{W}\,(l-x')}{2}\end{array}\right\}$	$\frac{l}{2}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{l-x''}{l}$ $-\frac{x''}{l}$	$\left.\begin{array}{l}\frac{x'\,(l-x'')}{l}\,\mathrm{W}\\ \frac{(l-x')\,x''}{l}\,\mathrm{W}\end{array}\right\}$	x''	$\frac{x''\,(l-x'')}{l^2}$
$\pm\frac{1}{2}$	$\frac{w\,x'\,(l-x')}{2}$	$\frac{l}{2}$	$\frac{1}{8}$
$1-\frac{x''}{2\,l}$	$w\left\{\left(x''-\frac{x''^2}{2\,l}\right)x' - \frac{x'^2}{2}\right\}$ $\frac{w\,x''^2}{2\,l}\,(l-x')$	$x''-\frac{x''^2}{2\,l}$	$\frac{x''}{2\,l}\left(1-\frac{x''}{2\,l}\right)^2$
$\pm\frac{1}{2}$	$\frac{n\,(\mathrm{N}-n)}{2\,\mathrm{N}}$	$\frac{l}{2}$	$\frac{1}{8}$ при N четномъ $\frac{\mathrm{N}^2-1}{8\,\mathrm{N}^2}$ при N нечетномъ

тогда, когда подвижной грузъ займетъ всю балку, а слѣдовательно тутъ нѣтъ разницы между этимъ и VI случаемъ, помѣщеннымъ въ таблицѣ.

$$M = \frac{(w + w')\, x\, (l - x)}{2} = \frac{(w + w')\, (c^2 - x'^2)}{2} \quad \ldots . (4.)$$

Правила эти выражаются графически слѣдующимъ построеніемъ. На чер. 131 AB представляетъ длину балки, C есть ея средина: по перпендикуляру EAD отложите AD равное половинѣ полнаго постояннаго груза или $wl:2$; и AE равное половинѣ полнаго подвижнаго груза или $w'l:2$. Проведите прямую CD и начертите параболу, которой вершина въ B, которая касательна къ BA и проходитъ чрезъ точку E; начертите также кругъ AFB и примите квадратъ радіуса CF за *наибольшій моментъ сгиба по средин балки* т. е. за $(w + w^1)\, l^2 : 8$.

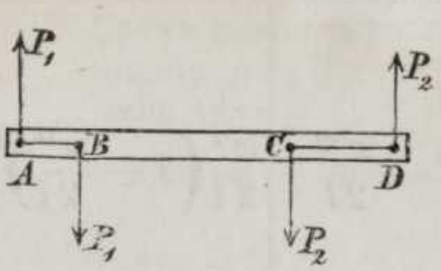


Чер. 131.

Пусть G одно изъ положеній разсматриваемаго сѣченія, HK перпендикуляръ къ AB въ точкѣ G; HJ будетъ наибольшая сдвигающая сила въ этомъ сѣченіи, а квадратъ полухорды GK наибольшій моментъ сгиба.

Ордината параболы CL по серединѣ балки есть четверть AE и представляетъ наибольшую сдвигающую силу въ этой точкѣ; сила эта равна осьмой долѣ подвижнаго груза или $w'l:8$.

Случай X. Когда на концахъ балки дѣйствуютъ двѣ равныя противоположныя пары, (чер. 132), тогда каждый конецъ балки AB или CD можетъ быть разсматриваемъ какъ балка, укрѣпленная однимъ концомъ въ стѣну, и обремененная на другомъ концѣ грузомъ P_1 или P_2; средняя часть между B и C не подвержена сдвигающему напряженію, а только дѣйствію постояннаго момента сгиба



Чер. 132.

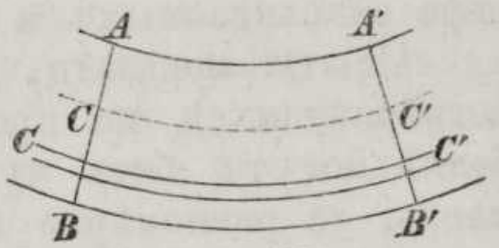
$$M = P_1 \,.\, AB = P_2 \,.\, CD$$

162. Сопротивленіе перелому. Поперечная крѣпкость. Дѣйствіе момента сгиба въ каждомъ поперечномъ сѣченіи состоитъ въ томъ, что онъ сгибаетъ балку, и каждый ея

слой, который былъ прежде плоскимъ и перпендикулярнымъ къ направленію груза, выгибается въ сторону дѣйствія момента и становится вогнутымъ со стороны противной.

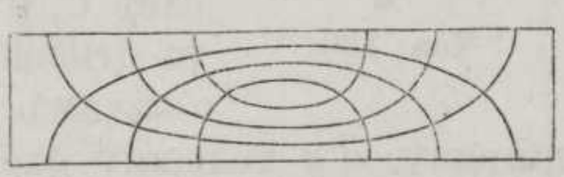
Такъ въ чертежѣ 133, въ которомъ представлена часть балки, слой CC' согнулся и обращенъ выпуклою стороною внизъ, а вогнутою вверхъ.

Слои у вогнутой части балки AA' уменьшились въ длинѣ, а у выпуклой части BB' стали длиннѣе въ слѣдствіе сгибающаго дѣйствія груза. Между ними есть поверхность $00'$ которая въ длинѣ не измѣнилась, она называется *неутральною поверхностью*, но изъ этаго не слѣдуетъ, чтобы частицы, лежащія въ этой поверхности остались безъ искаженія; подобно другимъ частицамъ балки онѣ сжимаются и вытягываются въ двухъ діагональныхъ направленіяхъ, составляющихъ съ этою поверхностью уголъ въ 45^0, дѣйствіемъ сдвигающей силы груза, если это дѣйствіе есть.



Чер. 133.

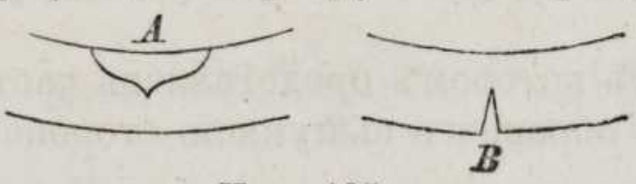
Состояніе разныхъ частицъ балки въ слѣдствіе сгибающаго и сдвигающаго дѣйствія груза показано на чертежѣ 134, представляющемъ продольное сѣченія прямоугольной балки, поддержанной на концахъ и нагруженной въ промежуточныхъ точкахъ: на немъ назначено два ряда кривыхъ, которыя пересѣкаются подъ прямыми углами. Выпуклыя кверху кривыя суть *линіи прямаго распора*, а обращенныя выпуклостью къ низу суть *линіи прямой натянутости*. Касательныя къ кривымъ въ точкахъ ихъ встрѣчи суть *оси напряженій* частицъ въ точкахъ пересѣченія. Неутральная ось пересѣкается всѣми кривыми подъ угломъ въ 45^0. Въ томъ отвѣсномъ сѣченіи балки, гдѣ нѣтъ сдвигающей силы и гдѣ моментъ сгиба наибольшій, кривыя горизонтальны.


Чер. 134.

За исключеніемъ нѣкоторыхъ случаевъ, о которыхъ будетъ сказано послѣ, нѣтъ надобности разсматривать сдвигающее дѣйствіе груза на балку.

Когда балка ломается отъ дѣйствія груза, то она разрушается или раздробленіемъ въ сжимаемой части AA'

или разрывомъ въ вытягиваемой BB'. Въ чертежѣ 135 A представляетъ балку изъ зернистаго матеріала, каковъ чугунъ, она разрушается раздробленіемъ сжимаемой части,



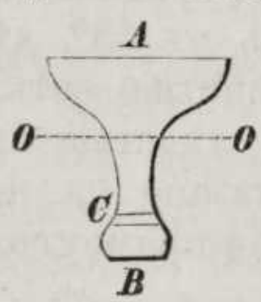
Чер. 135.

изъ которой выжимается родъ клина. B есть балка, разрушающаяся разрывомъ вытягиваемой стороны ея.

Сопротивленіе балки сгибу и перелому заключается въ парѣ, состоящей изъ распора сдавливаемыхъ и натянутости вытягиваемыхъ слоевъ.

Опыты показали, что въ большей части случаевъ, встрѣчающихся на практикѣ, продольныя напряженія въ балкѣ могутъ безъ чувствительной ошибки быть принимаемы за равномѣрно измѣняющіяся, такъ что величину напряженія каждой частицы можно считать пропорціональною ея разстоянію отъ неутральной поверхности.

Чертежъ 136 есть поперечное сѣченіе балки, подобной представленной на чер. 133; A сжимаемая сторона, B вытягиваемая, C какой нибудь слой, OO *неутральная ось* поперечнаго сѣченія, т. е. линія, въ которой его плоскость пересѣкается съ неутральною поверхностью. Если



Чер. 136.

есть единичная величина напряженія въ слоѣ C, y разстояніе этаго слоя отъ оси OO; то отношеніе $p:y$ есть величина постоянная, означимъ ее буквою a. Пусть z очначаетъ ширину, dy толщину слоя C.

Напряженіе вдоль слоя будетъ $pzdy=ayzdy$, а напряженіе всѣхъ слоевъ даннаго поперечнаго сѣченія

$$a\int yzdy$$

и оно должно быть нулемъ или иначе, полный распоръ и полная натянутость должны быть равны между собою, потому что всѣ грузы дѣйствуютъ на балкѣ въ поперечномъ направленіи; слѣдовательно имѣемъ

$$\int yzdy=0 \ldots\ldots (1.)$$

и *неутральная ось проходитъ чрезъ центръ тяжести сѣченія*. На основаніи этаго свойства неутральная ось можетъ быть опредѣляема по способамъ, изложеннымъ въ §§ 104 и 105; при этомъ надобно помнить, что центръ тяжести плоской фигуры отыскивается также точно, какъ

центръ тяжести призмы, имѣющей основаніемъ данную фигуру и во всѣхъ точкахъ одинакую высоту и одинакую плотность.

Чтобы найти наибольшее значеніе постояннаго отношенія $p:y$, соотвѣтсвенное крѣпкости балки въ данномъ поперечномъ сѣченіи, назовемъ y_a разстояніе сжимаемой, y_b вытягиваемой стороны бруса отъ неутральной оси; f_a наибольшее сжиманіе, f_b наибольшее вытягиваніе, которое матеріалъ можетъ выдерживать въ видѣ балки. Возмите отношенія $f_a:y_a$ и $f_b:y_b$, и примите наименьшую изъ этихъ величинъ за численное значеніе $p:y$, его можно означить $f:y_1$. Въ этомъ отношеніи f есть f_a или f_b, а y_1 есть y_a или y_b смотря потому разрушится ли балка раздробленіемъ или разрывомъ.

Моментъ, относительно оси, напряженія однаго изъ слоевъ поперечнаго сѣченія есть

$$y\,p\,z\,dy = \frac{f}{y_1}\,y^2\,z\,dy$$

Сумма такихъ моментовъ есть *моментъ сопротивленія сгибу* разсматриваемаго поперечнаго сѣченія

$$\mathrm{M}_0 = \int p\,y\,z\,dy = \frac{f}{y_1}\int y^2\,z\,dy \ldots\ldots (2.)$$

или полагая $f\,y^2\,z\,dy = \mathrm{I}$ получимъ

$$\mathrm{M}_0 = \frac{f\mathrm{I}}{y_1} \ldots\ldots (2\mathrm{A}.)$$

Когда дѣло идетъ объ разрушающемъ грузѣ, то f есть *коефицентъ перелома* матеріала; онъ не всегда сходенъ съ коефицентомъ раздробленія или разрыва, но имѣетъ особенную численную величину, которая опредѣляется опытами надъ переломомъ балокъ. Одною изъ причинъ этой разницы можно считать то, что сопротивленіе матеріала прямому сжиманію или вытягиванію увеличивается, какъ замѣчено въ § 154, когда предупреждена или уменьшена возможность измѣненія поперечныхъ размѣровъ; другую причину этаго можно искать въ томъ, что крѣпкость металловъ, особенно литыхъ, у поверхности или ихъ *кора* (skin) крѣпче нежели внутренная масса. Когда брусъ подвергается прямому разрыву, тогда крѣпкость заключается въ слабѣйшей его части т. е. центральной, при поперечномъ

переломѣ дѣйствуетъ крѣпкость коры, которая болѣе другихъ частей, или крѣпкость слоевъ близь коры.

Когда дѣло идетъ объ безопасной нагрузкѣ, то вмѣсто f вставляется въ формулу коефицентъ перелома, раздѣленный на коефицентъ благонадежности, какъ сказано въ § 143.

Множителя I въ уравненіи (2 А) условились называть *моментомъ инерціи* поперечнаго сѣченія балки; для сѣченій, которыхъ фигуры подобны и которыя составляютъ одно другому параллельныя проложенія, моменты инерціи находятся въ отношеніи ихъ ширины и кубовъ высоты; величины y_1 пропорціональны высотамъ. Такъ что если b есть ширина, а h толщина или высота прямоугольника, описаннаго около фигуры того поперечнаго сѣченія балки, гдѣ моментъ сгиба наибольшій, то можно положить

$$\mathrm{I} = n' b h^3 \ldots\ldots (3.)$$
$$y_1 = m' h \ldots\ldots (4.)$$

здѣсь n' и m' суть численныя величины зависящія отъ фигуры сѣченія; если положить что ихъ отношеніе $n' : m'$ равно n, то моментъ сопротивленія можетъ быть выраженъ слѣдующимъ образомъ

$$\mathrm{M}_0 = n f b h^2 \ldots\ldots (5.)$$

Изъ этаго видно, что *моменты сопротивленія сгибу подобныхъ поперечныхъ сѣченій пропорціональны ихъ ширинѣ и квадрату высоты.*

Чтобы найти отношеніе между грузомъ и размѣрами балки надобно наибольшую величину момента сгиба, выраженную въ функціи груза и длины балки и данную уравненіями (10.), (11.), (12.) § 160, приравнять величинѣ момента сопротивленія балки въ томъ поперечномъ сѣченіи, гдѣ дѣйствуетъ наибольшій моментъ сгиба, опредѣленный по уравненію (5.) т. е.

$$\mathrm{M}_0 = m \mathrm{W} l = n f b h^2 \ldots\ldots (6.)$$

здѣсь m есть коефицентъ, зависящій отъ разпредѣленія груза и данный для разныхъ случаевъ въ таблицѣ § 161.

При употребленіи уравненія (6.), надобно всѣ величины въ него входящія выражать въ однихъ и тѣхъ же мѣрахъ; такъ какъ въ таблицахъ f дается въ пудахъ на квадратный дюймъ, то b и h бываютъ выражены въ дюймахъ, по этому и l надобно выражать въ дюймахъ, а моментъ будетъ въ пудо-дюймахъ.

При отыскиваніи момента иперціи I поперечнаго сѣченія сложной фигуры должно держаться слѣдующихъ правилъ:

Раздѣлите сложную фигуру на нѣсколько простыхъ, вообразите, что чрезъ центръ тяжести каждой простой фигуры проведена неутральная ось, параллельная неутральной оси всего сѣченія; найдите моментъ инерціи каждой фигуры относительно ея оси; помножьте площадь каждой части на квадратъ разстоянія ея оси отъ общей оси. Сумма всѣхъ опредѣленныхъ такимъ образомъ моментовъ и полученныхъ произведеній, есть общій моментъ инерціи всего поперечнаго сѣченія. Чтобъ выразить это алгебрическими знаками назовемъ A' площадь одной изъ частныхъ фигуръ, y' разстояніе отъ неутральной ея оси; то общій моментъ инерціи есть

$$I = \Sigma I' + \Sigma y'^2 A' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7.)$$

Когда данная фигура поперечнаго сѣченія можетъ быть получена отнятіемъ простой фигуры отъ другой фигуры, тоже простой, тоесть, когда центръ тяжести можетъ быть опредѣленъ по правилу VII § 104, то, какъ площадь, такъ и моментъ отнимаемой фигуры должно считать отрицательными, если прилагать къ такому случаю уравненіе (7.)

163. Примѣры моментовъ сопротивленія. Прилагаемая таблица содержитъ величины коефиціентовъ n', m' и n уравненій (3.), (4.) и (5.)

Вотъ нѣсколько случаевъ, которые неудобны для помѣщенія въ таблицѣ.

Примѣръ VIII. Тавровая форма (буква T) площадь лежня A_1 высота h_1, площадь отвѣснаго ребра A_2, высота его h_2; вся площадь $A = A_1 + A_2$, вся высота $h = h_1 + h_2$.

Точное рѣшеніе. Разстояніе отъ неутральной оси до нижней грани ребра

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= \frac{h_2}{2} + \frac{A_1 h}{2A} = \frac{h}{2} + \frac{h A_1 - h_1 A}{2A} \\ \text{Моментъ инерціи} \\ I &= \frac{A_1 h_1^2 + A_2 h_2^2}{12} + \frac{A_1 A_2 h^2}{4A} \end{aligned}\right\} \ldots (1.)$$

Форма поперечнаго сѣченія.	$n' = \frac{I}{b\,h^3}$	$m' = \frac{y_1}{h}$	$n = \frac{M_0}{f\,b\,h^2}$
I. Прямоугольн. $b\,h$ и квадратъ	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$
II. Элипсъ и кругъ Отвѣсная ось h . . . . . . Горизонтальная ось b . . .	$\frac{\pi}{64} = \frac{1}{20{\cdot}4} = 0{\cdot}0491$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\pi}{32} = \frac{1}{10{\cdot}2} = 0{\cdot}0982$
III. Полый прямоугольникъ $b\,h - b'h'$; также двойное Т, b' означаетъ тогда ширину боковыхъ пустотъ	$\frac{1}{12}\left(1-\frac{b'h'^3}{b\,h^3}\right)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}\left(1-\frac{b'h'^3}{b\,h^3}\right)$
IV. Полый квадратъ $h^2 - h'^2$ . .	$\frac{1}{12}\left(1-\frac{h'^4}{h^4}\right)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}\left(1-\frac{h'^4}{h^4}\right)$
V. Полый элипсъ	$\frac{1}{20{\cdot}4}\left(1-\frac{b'h'^3}{b\,h^3}\right)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10{\cdot}2}\left(1-\frac{b'h'^3}{b\,h^3}\right)$
VI. Полый кругъ	$\frac{1}{20{\cdot}4}\left(1-\frac{h'^4}{h^4}\right)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10\,2}\left(1-\frac{h'^4}{h^4}\right)$
VII. Равносторонній триугольникъ; высота b, основаніе h'; y_1 считается отъ вершины	$\frac{1}{36}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{24}$

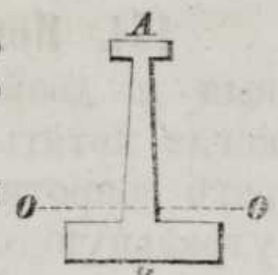
Моментъ сопротивленія $M_0 = \frac{f\,I}{y_1}$

Приблизительное рѣшеніе. Когда h_1 очень мало, сравнительно съ h_2, то предположите, что $h_2 + \frac{1}{2}h_1 = h'$ и тогда

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= \frac{h'}{2}\left(1+\frac{A_1}{A}\right);\ I = h'^2\left(\frac{A_2}{12}+\frac{A_1\,A_2}{4\,A}\right)\\ M_0 &= \frac{f\,h'}{6}\frac{(3\,A_1+A)\,A_2}{A_1+A} = \frac{f\,h'}{6}\frac{(A_2+4\,A_1)\,A_2}{A_2+2\,A_1}\end{aligned}\right\} \quad \ldots (2.)$$

Примѣръ IX. Двойное тавровое сѣченіе (чер. 137). Балка можетъ переломиться при разрывѣ нижняго лежня.

Верхняго лежня: площадь A_1, высота h_1, средняго ребра: площадь A_2, высота h_2; нижняго лежня: площадь A_3, высота h_3



Чер. 137.

Точное рѣшеніе. Высота неутральной оси надъ нижней гранью балки

$$y_b = \frac{h_3}{2} + \frac{(h_2+h_3)(A_1+A_2)+(h_1+h_2)A_1}{2A}$$

Моментъ инерціи поперечняго сѣченія

$$I = \frac{A_1 h_1^2 + A_2 h_2^2 + A_3 h_3^2}{12} + \frac{1}{4A}[A_1 A_3 (h_1+2h_2+h_3)^2 + A_1 A_2 (h_1+h_2)^2 + A_2 A_3 (h_2+h_3)^2]$$

а моментъ сопротивленія

$$M_0 = \frac{f_b I}{y_b} \qquad \left.\begin{array}{l}\\ \\ \\ \

164. Поперечныя сѣченія равной крѣпкости. Тавровыя и двойныя тавровыя формы употребительны тогда, когда хотятъ издержать на балку меньше матеріала, котораго сопротивленіе раздробленію и разрыву различны; нейтральную ось такъ помѣщаютъ, чтобы крѣпкость балки при переломѣ раздробленіемъ или разрывомъ были почти одинаковы.

Пусть f_a есть коефиціентъ перелома при раздробленіи, f_b при разрывѣ.

y_a разстояніе отъ неутральной оси до сжимаемой стороны, y_b до растягиваемой.

$h = y_a + y_b$ высота балки.

Неутральная ось должна быть такъ помѣщена, чтобы удовлетворялась пропорція

$$f_a + f_b : f_a : f_b = h : y_a : y_b \ldots\ldots (1.)$$

Пусть A_2 означаетъ площадь поперечнаго сѣченія отвѣснаго ребра балки, измѣряемая между центрами верхняго и нижняго поясовъ; A_1 площадь сжимаемаго, A_3 растягиваемаго пояса.

Слѣдующія рѣшенія имѣютъ одинакую степень приближенія съ рѣшеніями (2.) и (4.) § 163.

1й *Случай.* f_a болѣе нежели f_b, форма балки тавровая. Тутъ поясъ нуженъ въ растягиваемой части балки и площадь его должна быть

$$A_3 = \frac{f_a - f_b}{2 f_b} A_2 \ldots. (2.)$$

Моментъ сопротивленія такого поперечнаго сѣченія есть по уравненію (2.) § 163

$$M_0 = \frac{(2 f_a - f_b)}{6} h' A_2 \ldots\ldots (3.)$$

2й *Случай.* f_a болѣе нежели f_b, форма балки двойное тавро. Если A_1 есть площадь сѣченія сжимаемаго пояса или лежня, то площадь вытягиваемаго будетъ

$$A_3 = \frac{f_a}{f_b} A_1 + \frac{f_a - f_b}{2 f_b} A_2 \ldots (4.)$$

а моментъ сопротивленія

$$\left.\begin{aligned} M_0 &= h' \left\{ f_a A_1 + (2f_a - f_b) \frac{A_2}{6} \right\} \\ &= h' \left\{ f_b A_3 - (f_a - 2f_b) \frac{A_2}{6} \right\} \end{aligned}\right\} \quad \ldots . (5.)$$

Когда надобно проэктировать балку по данному моменту сгиба, то высоту ея h^1 и площадь A_2 надобно выбрать приблизительно и потомъ вычислить по уравненію (5.) площади поясовъ.

Примѣръ. Пусть для нѣкотораго сорта чугуна

$f_a = 2000$ пуд. на квадр. дюймъ $f_b = 500$ пудовъ.

въ хорошо расположенномъ сѣченіи балки

$$5 : 4 : 1 :: h : y_a : y_b.$$

Тогда при тавровой формѣ

$$A_3 = \frac{4-1}{2} A_2 = \frac{3}{2} A_2 \text{ и } M_0 = \frac{3500\, h' A_2}{6} \quad . . (6.)$$

при двойной тавровой

$$\left.\begin{aligned} A_3 = 4 A_1 + \frac{3}{2} A_2 \text{*) и } M_0 &= h' \left\{ 2000\, A_1 + 3500 \frac{A_2}{6} \right\} \\ &= h_1 \left\{ 500\, A_3 - 1000 \frac{A_2}{6} \right\} \end{aligned}\right\} \quad \ldots (7.)$$

3й *Случай.* f_a менѣе нежели f_b, форма тавровая. Поясъ нуженъ въ сжимаемой части и его площадь есть

$$A_1 = \frac{f_b - f_a}{2 f_a} A_2 \quad \ldots . (8.)$$

а моментъ сопротивленія такого поперечнаго сѣченія

$$M_0 = \left(\frac{2f_b - f_a}{6} \right) h' A_2 \ldots (9.)$$

---

*) Этотъ выводъ согласенъ съ тѣмъ, который получилъ Г. Годжкинсонъ опытами надъ лучшею формою чугунныхъ балокъ.

4й *Случай.* f_a менѣе нежели f_b, форма двойная тавровая. Если A_3 есть площадь вытягиваемаго пояса, то площадь сжимаемаго будетъ

$$A_1 = \frac{f_b}{f_a} A_3 + \frac{f_b - f_a}{2 f_a} A_2 \quad \ldots\ldots (10.)$$

а моментъ сопротивленія

$$M_0 = h' \left\{ f_b A_3 + (2 f_b - f_a) \frac{A_2}{6} \right\}$$

$$= h' \left\{ f_a A_1 + (2 f_a - f_b) \frac{A_2}{6} \right\} \quad \ldots\ldots (11.)$$

Также какъ и прежде надобно принять A_2, площадь отвѣснаго ребра и высоту балки по соображенію, а потомъ изъ уравненія (11.) опредѣлить площади поясовъ.

Примѣръ. Для нѣкотораго сорта желѣза найдено, что

$$f_a = 900 \text{ пудовъ}, \; f_b = 1500 \text{ пудовъ}$$

въ хорошо расположенномъ поперечномъ сѣченіи

$$8 : 3 : 5 :: h : y_a : y_b.$$

При тавровой формѣ

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{5-3}{6} A_2 = \frac{A_2}{3} \\ M_1 &= \frac{2100\, h'\, A_2}{6} \end{aligned} \right\} \quad \ldots\ldots (12.)$$

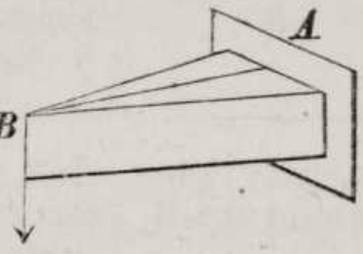
а при формѣ двойнаго тавра

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{5}{3} A_3 + \frac{1}{3} A_2; \; M_0 = h' \left\{ 1500\, A_3 + 2100 \frac{A_2}{6} \right\} \\ &= h' \left\{ 900\, A_1 + 300 \frac{A_2}{6} \right\}^{*)} \end{aligned} \right\} \quad (13.)$$

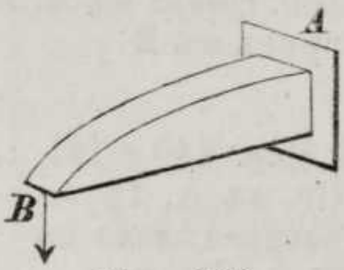
---

*) Теоретическое рѣшеніе 2го и 4го случаевъ дано въ первый разъ въ запискѣ Г. Калькота Релли, читанной въ Британскомъ Обществѣ въ Оксфордѣ въ 1861 году.

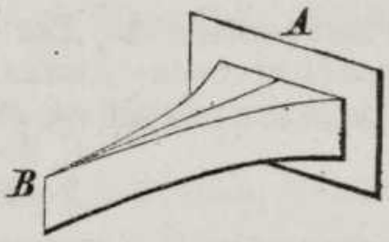
165. Продольныя сѣченія балокъ равной крѣпкости. Поперечное сѣченіе балки можно измѣнять такъ, чтобы въ каждой ея точкѣ крайній моментъ сопротивленія былъ въ постоянномъ отношеніи съ моменту сгиба бруса. Такъ какъ моментъ сопротивленія при однородныхъ фигурахъ пропорціоналенъ ширинѣ и квадрату высоты, то его можно измѣнять, измѣняя ширину или высоту или и то и другое. Законъ измѣненія зависитъ отъ способа измѣненія момента сгиба балки при переходѣ отъ одной точки къ другой, а онъ въ свою



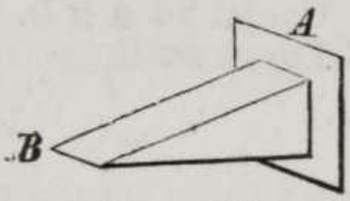
Чер. 138.



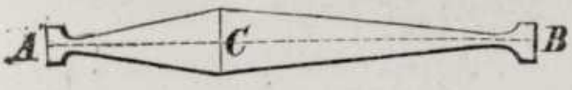
Чер. 139.



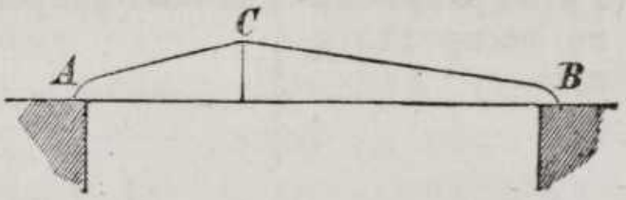
Чер. 140.



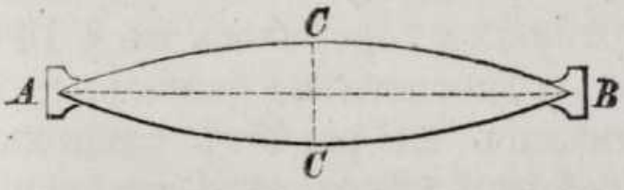
Чер. 141.



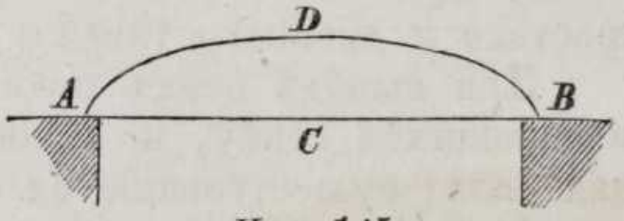
Чер. 142.



Чер. 143.



Чер. 144.



Чер. 145.

очередь зависитъ отъ расположенія груза и поддерживающихъ усилій, чему были приведены примѣры въ §§ 160 и 161. Когда высота балки постоянна, а измѣняется ширина, то продольное сѣченіе балки прямоугольно, и форма горизонтальнаго ея проложенія или плана зависитъ отъ того, какъ измѣняется ширина. При постоянной ширинѣ, балка въ планѣ прямоугольна, форма же продольнаго сѣченія зависитъ отъ измѣненія высоты.

Прилагаемая таблица содержитъ примѣры выводовъ, основанные на этихъ законахъ.

Расположеніе груза и опоръ.	bh^2 пропорціонально	Форма въ планѣ при постоянной высотѣ.	Форма продольн. сѣченія при постоянн. ширинѣ.
I. Чертежи 138 и 139. Опора въ А, грузъ въ В	Разстоянію отъ В	Треугольникъ, вершина въ В. (Чер. 138).	Парабола, вершина В (Ч. 139).
II. Чер. 140 и 141. Оп. въ А, грузъ распредѣленъ по всей длинѣ.	Квадрату разстоянія отъ В	Двѣ параболы, касающіяся вершинами В. (Чер. 140).	Треугольникъ, вершина въ В (Чер. 141).
III. Чер. 142 и 143. Опоры въ А и В. Грузъ въ С.	Разстоянію отъ соотвѣтственной точки опоры	Два треугольника, сходящіеся основаніями С, вершины въ А и В. (Чер. 142).	Двѣ параболы пересѣкающіяся въ С, вершины въ А и В (Чер. 143).
IV. Чер. 144 и 145. Опоры въ А и В. Грузъ равномѣрно распредѣленный.	Произведенію разстояній отъ точекъ опоры.	Двѣ пароболы, вершины въ С и С по срединѣ балки; общее основаніе А В, (Чер. 144).	Элипсъ А D В (Чер. 145).

Формы показанныя въ этой таблицѣ для балокъ въ планѣ, при однообразной высотѣ приложимы къ формамъ простаго и двойнаго тавра о которыхъ говорилось въ § 164.

При выводѣ всѣхъ правилъ относительно балокъ, подвергающихся сгибу, не принималась въ расчетъ сдвигающая сила; существованіе ея требуетъ нѣкотораго измѣненія въ формѣ балокъ у ея краевъ; а именно нѣкоторой прибавки матеріала, какъ это сдѣлано на чер. 142 и 144, гдѣ на концахъ, которыми балки опираются на стѣны сдѣланы *сковородни*, какъ для сопротивленія сдвигающему усилію, такъ и для приданія балкамъ боковой устойчивости или уменьшенія ихъ валкости. Объ наибольней величинѣ сдвигающаго напряженія говорено будетъ въ § 168.

166. Коефицентъ перелома чугунныхъ балокъ. Г. Уильямъ Генри Барлоу въ запискѣ, читанной Королевскому Обществу (Philosophical Transactions 1855), говоритъ что коефицентъ перелома чугуннихъ балокъ имѣетъ разныя величины, начиная съ простой вязкости до двухъ съ четвер-

тью этой вязкости, смотря по формѣ поперечнаго сѣченія. Это оказалось при опытахъ надъ балками, которыя имѣли иногда сплошныя прямоугольныя сѣченія, иногда же были съ пустотою внутри. Выводы произведенныхъ опытовъ согласны были съ слѣдующей эмперической формулою:

$$f = f_0 + f' \frac{H}{h} \ldots\ldots (1.)$$

Здѣсь f есть коефицентъ перелома балки; f_0 прямая вязкость чугуна; f' коефицентъ опредѣляемый опытомъ; $H:h$ отношеніе высоты сплошнаго металла въ поперечномъ сѣченіи балки, къ полной высотѣ балки. Вотъ численныя величины постоянныхъ для чугуна, надъ которымъ производились опыты.

Прямая вязкость $f_0 = 468^3/_4$ пуда на квадратный дюймъ

$f' = 575$ пудовъ или около $1^1/_4 f_0$

Г. Барлоу дѣлалъ и другіе опыты надъ чугунными балками различной формы, также и надъ желѣзными балками; опыты эти привели къ подобнымъ же результатамъ, хотя и не столь рѣшительнымъ.

167. Собственный вѣсъ балки. Предѣлъ ея длины. При довольно длинной балкѣ, собственный ея вѣсъ имѣетъ такое значительное отношеніе къ поддерживаемому ею грузу, что необходимо принять его въ расчетъ при опредѣленіи размѣровъ балки.

Вотъ способъ, который должно для этаго употребить въ томъ случаѣ, когда грузъ разпредѣленъ равномѣрно и балка имѣетъ вездѣ одинакую площадь сѣченія.

Пусть W' есть дѣйствительная накрузка, s_1 ея коефиценъ благонадежности, s_2 коефицентъ благонадежности относящійся къ постоянному грузу, каковъ вѣсъ балки. — Назовемъ b' ширину балки, расчитанную по внѣшнему разрушающему грузу $s_1 W^1$. По этой приблизительной ширинѣ надобно вычислить вѣсъ балки, который означимъ буквою B'.

$s_1 W^1 : (s_1 W^1 - s_2 B')$ есть отношеніе, въ которомъ полный разрушающій грузъ превосходитъ внѣшнюю часть груза; по этому ширина балки b' должна быть измѣнена въ томъ же отношеніи

$$b = \frac{b^1 s_1 W^1}{s_1 W^1 - s_2 B^1} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

балка будетъ имѣть крѣпкость, достаточную для выдержанія, какъ внѣшняго груза W_1, такъ и собственнаго вѣса, который будетъ теперь

$$B = \frac{B' s_1 W'}{s_1 W' - s_2 B'} \ldots\ldots (2.)$$

и весь полный разрушающій грузъ будетъ

$$W = s_1 W' + s_2 B = \frac{s_1^2 W'^2}{s_1 W' - s_2 B'} \ldots\ldots (3.)$$

Такъ какъ коефицентъ благонадежности для постояннаго груза обыкновенно вдвое менѣе коефицента временнаго груза, то $s_1 = 2 s_2$, причемъ получается

$$b = \frac{2 b' W'}{2 W' - B'} \ldots\ldots (4.)$$

$$B = \frac{2 B' W'}{2 W' - B'} \ldots\ldots (5.)$$

$$W = \frac{2 s_1 W'^2}{2 W' - B'} \ldots\ldots (6.)$$

Тутъ предполагалось, что, какъ внѣшній грузъ, такъ и собственный вѣсъ балки, разпредѣлены равномѣрно, на дѣлѣ всегда такъ и бываетъ; а когда есть отступленія отъ равномѣрности, то они всегда такъ не значительны, что можно пользоваться полученными здѣсь выводами.

Полные грузы для балокъ, имѣющихъ въ сѣченіи подобныя фигуры, прямо пропорціональны ихъ ширинамъ и квадратамъ высотъ и обратно пропорціональны длинамъ, т. е. окончательно пропорціональны квадратамъ сходственныхъ линій; вѣсы такихъ балокъ пропорціональны кубамъ этихъ линій. Изъ этаго видно, что вѣсъ балки возрастаетъ быстрѣе нежели грузъ, который она въ состояніи поддерживать; и что слѣдовательно при данной формѣ балки и данномъ матеріалѣ, есть такіе размѣры балки, при которыхъ она можетъ выдерживать только собственный свой вѣсъ, безъ посторонняго груза.

Чтобы опредѣлить вычисленіемъ эту крайнюю длину, представимъ полный равномѣрный грузъ балки разрушающій ее, слѣдующимъ математическимъ выраженіемъ

$$W = s_1 W' + s_2 B = \frac{8 n f h A}{l} \ldots\ldots (7.)$$

здѣсь l, h и A суть длина, высота и площадь поперечняго сѣченія балки. f коефицентъ перелома, n множитель, зависящій отъ формы поперечнаго сѣченія. Вѣсъ балки выразится такъ

$$B = k w' l A \ldots\ldots (8.)$$

w' есть вѣскость балки, k множитель, зависящій отъ формы балки. Отношеніе вѣса балки, умноженнаго на соотвѣтственный коефицентъ благонадежности, къ полному разрушающему грузу есть

$$\frac{s_2 B}{W} = \frac{s_2 k w' l^2}{8 n f h} \ldots\ldots (9.)$$

Отношеніе это растетъ пропорціонально длинѣ, когда $l : h$ постоянно; въ этомъ случаѣ предѣльная длина L балки получается когда положимъ что $s_2 B = W$ т. е. что вѣсъ балки есть дѣйствующій въ ней грузъ.

$$L = \frac{8 n f h}{s_2 k w' l} \ldots\ldots (10.)$$

Когда разъ опредѣлена эта длина для балокъ извѣстной формы, то можно ею воспользоваться, чтобы вычислить взаимныя отношенія полнаго разрушающаго груза, вѣса балки, и внѣшняго дѣйствующаго груза, для балки тойже формы, но меньшей длины l; вотъ это отношеніе

$$L : \frac{l}{s_2} : \frac{L - l}{s_1} :: W : B : W' \ldots\ldots (11.)$$

Во всѣхъ послѣдующихъ примѣрахъ приняты коефиціенты благонадежности $s_1 = 6$, $s_2 = 3$.

1й *Примѣръ.* Положимъ, что чугунная балка имѣетъ прямоугольное сѣченіе, такъ что $n = \frac{1}{6}$, $k = 1$, $w' = 0{,}0071$ пуда на куб. дюймъ; $f = 1000$ пудовъ на квадратный дюймъ, и наконецъ $\frac{h}{l} = \frac{1}{15}$, тогда

$$L = 4173 \text{ дюймовъ} = \text{около } 348 \text{ футъ} \ldots\ldots (12.)$$

Если длина другой балки такой же формы, какъ и эта, есть l то

$$4173 : \frac{l}{3} : \frac{4173 - l}{6} :: W : B : W' \ldots\ldots (13.)$$

2й *Примѣръ.* Чугунная балка тавровой формы равной крѣпкости (§ 164 случай 1й)

$$A_3 = \frac{3}{2} A_2; \quad A = \frac{5}{2} A_2, \; A_2 = \frac{2}{5} A.$$

$$M_0 = \frac{W l}{8} = \frac{7 f_a h' A_2}{24} = \frac{14 f_a h' A}{120}; \; W = \frac{14 f_a h' A}{15 l}$$

Положимъ по прежнему $B = 0.0071\, l A$; $f_a = 2000$ пудовъ на квадр. дюймъ и $\frac{h'}{l} = \frac{1}{15}$, тогда

$$\left.\begin{aligned} \frac{s_2 B}{W} &= \frac{l}{5842} \\ L &= 5842 \text{ дюима} = \text{около } 487 \text{ футъ} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (14.)$$

$$5842 : \frac{l}{3} = \frac{5842 - l}{6} :: W : B : W' \quad (15.)$$

3й *Примѣръ.* Чугунная балка двойной тавровой формы равной крѣпкости (2й случай § 164.)

$$A_3 = \frac{3}{2} A_2 + 4 A_1; \; A = \frac{5}{2} A_2 + 5 A_1$$

$$M_0 = \frac{W l}{8} = f_a h' \left(\frac{7}{24} A_2 + A_1\right); \; W = \frac{f_a h'}{l} \left(\frac{7}{3} A_2 + 8 A_1\right)$$

Теперь надобно задать себѣ какое нибудь отношеніе между площадью A_1 верхняго лежня и площадью A_2 ребра; положимъ что $A_2 = 2 A_1$, какъ иногда бываетъ. Тогда

$$A = 5 A_2 = 10 A_1 = \frac{10}{7} A_3$$

$$W = \frac{f_a h' A}{l} \left(\frac{7}{15} + \frac{4}{5}\right) = \frac{19}{15} \frac{f_a h' A}{l}$$

полагая $B = 0{\cdot}0071\, l\, A$, $f_a = 2000$ и $\frac{h}{l} = \frac{1}{15}$ имѣемъ

$$\left.\begin{aligned} \frac{s_2 B}{W} &= \frac{l}{7929} \\ L &= 7929 \text{ дюймовъ} = \text{почти } 661 \text{ футъ} \end{aligned}\right\} (16.)$$

Слѣдовательно $7929 : \frac{l}{3} : \frac{7929 - l}{6} :: W : B : W' \ldots . (17.)$

4й *Примѣръ.* Желѣзная балка тавровой формы равной крѣпкости (3й случай § 164)

$$A_1 = \frac{1}{3} A_2 ; A = \frac{4}{3} A_2 ; A_2 = \frac{3}{4} A$$

$$M_0 = \frac{W l}{8} = \frac{7 f_b h' A_2}{30} = \frac{7 f_b h' A}{40} ; W = \frac{7 f_b h' A}{5 l}$$

Въ этомъ случаѣ $B = 0 : 0077\ l A = \frac{l A}{130.}$

Пусть $f_b = 1500$ пудовъ на квадратный дюймъ, $\frac{h'}{l} = \frac{1}{15}$ тогда

$$\left.\begin{aligned} \frac{s_2 B}{W} &= \frac{l}{6067} \\ L &= 6067 \text{ дюймовъ} = 505\tfrac{1}{2} \text{ футъ.} \end{aligned}\right\} (18.)$$

$$6067 : \frac{l}{3} : \frac{6067 - l}{3} = W : B : W' \ldots (19.)$$

5й *Примѣръ.* Желѣзная балка двойной тавровой формы равной крѣпкости (4й случай § 164.)

$$A_1 = \frac{1}{3} A_2 + \frac{5}{3} A_3 ; A = \frac{4}{3} A_2 + \frac{8}{3} A_3$$

$$M_0 = \frac{W l}{8} = f_b h' \left(\frac{7 A_2}{30} + A_3 \right) ; W = \frac{f_b h'}{l} \left(\frac{28}{15} A_2 + 8 A_3 \right)$$

Чтобы получить опредѣлительный выводъ положимъ, что $A_3 = A_2$; тогда $A = 4 A_2$ и

$$W = \frac{f_b h' A}{l}\left(\frac{7}{15}+2\right) = \frac{37}{15}\frac{f_b h' A}{l}$$

По прежнему $B = \frac{l A}{130}$; $f_b = 1500$; $\frac{h'}{l} = \frac{1}{15}$

$$\left.\begin{aligned} \frac{s_2 B}{W} &= \frac{l}{10688} \\ L &= 10688 \text{ дюймовъ} = 890\tfrac{2}{3} \text{ фута} \end{aligned}\right\} \quad (20.)$$

и $$10688 : \frac{l}{3} : \frac{10688-l}{6} :: W : B : W' \ldots (21.)$$

168. Разпредѣленіе сдвигающаго напряженія въ балкѣ. Въ § 160 сказано было, какъ найти наибольшее сдвигающее дѣйствіе груза въ данномъ поперечномъ сѣченіи балки: пусть F эта сила, A площадь поперечнаго сѣченія, въ которомъ она дѣйствуетъ, тогда средняя величина напряженія есть

$$q = \frac{F}{A} \ldots\ldots (1.)$$

Разпредѣленіе этой силы таково, что она имѣетъ наибольшую величину у неутральной оси и постепенно уменьшается вверхъ и внизъ, изчезая совершенно у краевъ.

Наибольшую величину q_0 можно найти слѣдующимъ образомъ: представьте себѣ, что поперечное сѣченіе раздѣлено на безконечно малые слои какъ C (чер. 136); пусть z означаетъ ширину, dy высоту этаго слоя, y его разстояніе до неутральной оси; пусть также z_0 есть ширина сѣченія у неутральной оси; I моментъ инерціи поперечнаго сѣченія, какъ онъ найденъ въ § 162; y_1 разстояніе неутральной оси отъ верхняго или нижняго края балки. Тогда

$$q_0 = \frac{F}{I z_0}\int_0^{y_1} y z\, dy \ldots\ldots (2.)$$

Интегралъ выраженія $yz\,dy$ берется между предѣлами отъ 0 до y_1 т. е. для одной изъ частей балки, на которыя ее дѣлитъ неутральныя ось, выбирается та половина, которая окажется удобнѣе.

Найбольшая единичная величина сдвигающаго напряженія превосходитъ среднюю въ отношеніи

$$\frac{q_0 A}{F} = \frac{A}{I z_0} \int_0^{y_1} y z d y \ldots\ldots (3.)$$

отношеніе это зависитъ только отъ формы поперечнаго сѣченія.

Вотъ нѣкоторые примѣры

I. Въ прямоугольникѣ $z_0 = b$ отношеніе есть $\frac{3}{2}$.

II. Въ элипсѣ и кругѣ отношеніе $\frac{4}{3}$.

III. Въ поломъ прямоугольникѣ: $A = bh - b'h'$, $z_0 = b - b'$ и двойной тавровой формѣ; отношеніе есть $\frac{3}{2} \frac{(bh - b'h')(bh^2 - b'h'^2)}{(b - b')(bh^3 - b'h'^3)}$

IV. Въ поломъ квадратѣ $h^2 - h'^2$ отношеніе ..... $\frac{3}{2}\left(1 + \frac{hh'}{h^2 + h'^2}\right)$

V. Въ поломъ элипсѣ
VI. Въ поломъ кругѣ
тѣже величины что въ полыхъ четыреугольникѣ и квадратѣ, но численное предстоящее есть $\frac{4}{3}$.

VII. При тавровой формѣ: лежень A_1, ребро A_2; $A = A_1 + A_2$.

$$\frac{3}{2} \frac{4 A A_1 + A_2^2}{A_2 (4 A_1 + A_2)}$$

VIII. При двойной тавровой формѣ: лежни A_1 и A_3 ребро A_2; $A = A_1 + A_2 + A_3$

$$\frac{A (24 A_1 A_3 + 12 A_1 A_2 + 12 A_2 A_3) + 3 A_2^3}{A_2 (24 A_1 A_3 + 8 A_1 A_2 + 8 A_2 A_3 + 2 A_2^2)}$$

Когда A_1 и A_3 въ послѣднемъ примѣрѣ очень велики, въ сравненіи съ A_2, то есть, когда балка состоитъ изъ двухъ поясовъ значительнаго размѣра соединенныхъ тонкимъ отвѣснымъ ребромъ, то можно разсматривать сдвигающее усиліе такъ, какъ будто оно дѣйствовало только въ отвѣсномъ ребрѣ и было равномѣрно разпредѣлено.

Наименьшія размѣры поперечнаго сѣченія балки назначаются обыкновенно независимо отъ сдвигающей силы и

бываютъ значительнѣе, нежели сколько нужно для того, чтобъ балка могла ей сопротивляться. Но если найдутъ удобнымъ соразмѣрить наименьшее поперечное сѣченіе съ сдвигающею силою, то при помощи выше приведенныхъ формулъ можно это сдѣлать, положивъ

$$q_0 = \frac{f'}{s} \ldots\ldots (4.)$$

гдѣ f' есть коефиціентъ перелома посредствомъ скалыванія, а s коефиціентъ благонадежности. Уравненіе даетъ для наименьшей площади поперечняго сѣченія слѣдующую величину

$$A = \frac{q_0 A}{F}\frac{F}{q_0} = \frac{q_0 A}{F}\cdot\frac{s F}{f'} \ldots\ldots (5.)$$

входящее сюда выраженіе $q_0 A : F$ надобно опредѣлить по уравненію (3.) или взять изъ рѣшенія выше приведенныхъ примѣровъ.

169. Прогибъ балокъ. Когда слово *прогибъ* употребляется просто безъ прилагательнаго, то оно означаетъ наибольшее перемѣщеніе какой нибудь точки нагруженной балки отъ того ея положенія, которое она занимаетъ, когда балка не нагружена. Тутъ надобно различать три случая: *прогибъ при всякомъ грузѣ; безопасный прогибъ* подъ самымъ большимъ грузомъ не превосходящимъ прочной крѣпкости балки, и *крайній прогибъ* непосредственно предшествующій перелому. Когда грузъ не превосходитъ прочной крѣпкости балки, то прогибъ ея почти пропорціоналенъ величинѣ груза; но когда грузъ больше безопаснаго, тогда прогибъ возрастаетъ въ большей пропорціональности нежели грузъ, и вообще неправильнымъ образомъ, такъ что опредѣлить крайній прогибъ балки посредствомъ вычисленій невозможно. Поэтому здѣсь будетъ говориться только объ прогибахъ подъ грузами меньшими, нежели прочная крѣпкость балки.

Опредѣленіе прогиба балки подъ поперечнымъ грузомъ состоитъ изъ трехъ пріемовъ: опредѣленіе *кривизны* балки у какого нибудь поперечнаго сѣченія, уклона кривой у какого нибудь сѣченія и наконецъ *прогиба*.

1й *пріемъ*. Чтобы найти *кривизну* въ данномъ поперечномъ сѣченіи, надобно раздѣлить моментъ сгиба у этаго поперечнаго сѣченія, опредѣляемый какъ въ 3 пріемѣ § 162,

на моментъ инерціи этаго сѣченія, который опредѣляется по уравненію (3.) § 162, и на коефицентъ прямой упругости матеріала. Частное будетъ кривизна балки или обратная величина радіуса кривизны у разсматриваемаго поперечнаго сѣченія балки: означимъ этотъ радіусъ r, другія же буквы будутъ имѣть прежнія значенія; тогда

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{E I} \quad \ldots\ldots (1.)$$

Смотря по знаку, положительному или отрицательному, можно будетъ судить объ томъ, внизъ или вверхъ обращена кривая своею выпуклостью.

Когда на балкѣ лежитъ безопасная нагрузка, а разсматривается сѣченіе наибольшаго напряженія, тогда назовемъ M_0 моментъ сгиба, I_0 моментъ инерціи этаго сѣченія: по уравненіямъ (2 A), (3.), (4.) и (5.) § 162 имѣемъ.

$$M_0 = \frac{f' I_0}{y_1}$$

Здѣсь f' есть коефиціентъ прочной крѣпкости, который для большей части матеріаловъ бываетъ отъ половины до трети коефицента разрушенія по § 143; уравненіе (1.) обращается теперь въ

$$\frac{1}{r_0} = \frac{M_0}{E I^0} = \frac{f'}{E\, y_1} = \frac{f'}{E\, m' h} \quad \ldots (2.)$$

здѣсь m' имѣетъ значеніе, объясненное въ § 162.

Этимъ уравненіемъ опредѣляется наибольшая кривизна, которую балка можетъ принять безъ опасности; такъ какъ $f' : E$ есть *безопасное искаженіе* матеріала, то наибольшая кривизна зависитъ отъ величины безопаснаго искаженія, высоты балки и формы поперечнаго сѣченія.

Такъ какъ всѣ размѣры балки выражены въ дюймахъ, а коефиценты въ пудахъ на квадратный дюймъ, то радіусъ кривизны получается въ дюймахъ.

Знаменатель EI въ уравненіи (1.) выражаетъ *поперечную жесткость балки* или сопротивленіе ея сгибу у даннаго поперечнаго сѣченія; такъ какъ по уравненію (5.) § 162 моментъ инерціи I равенъ $n' b h^3$, то сопротивленіе подобныхъ поперечныхъ сѣченій балокъ изъ одинаковаго

матеріала находятся въ отношеніи ихъ ширины и кубовъ высоты, и слѣдовательно:

Кривизны балокъ одинаковаго матеріала у поперечныхъ подобныхъ между собою сѣченій, при одинакихъ моментахъ сгиба, находятся въ обратномъ отношеніи ширины балокъ и кубовъ ихъ высоты.

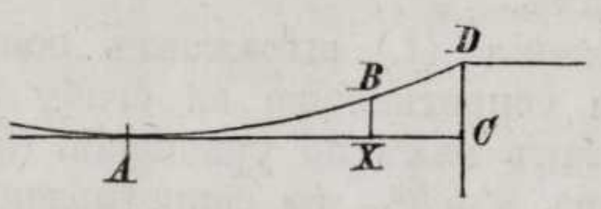
Изъ уравненія (2.) видно также, что кривизны балокъ изъ одинаковаго матеріала у подобныхъ по фигурѣ поперечныхъ сѣченій, при соотвѣтственныхъ безопасныхъ моментахъ сгиба, толщинамъ обратно пропорціональны ихъ.

Въ случаѣ поперечныхъ сѣченій равной крѣпкости, подобныхъ описаннымъ въ § 164, уравненію (2.) можно дать другой видъ: пусть f_a' и f_b' суть коефиценты прочнаго сопротивленія поперечному перелому сжиманіемъ и вытяги-

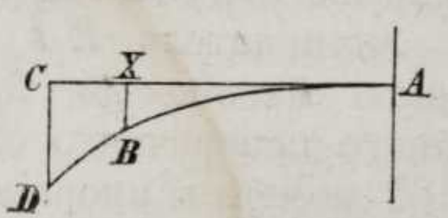
ваніемъ; тогда $$\frac{1}{r_0} = \frac{f_a' + f_b'}{E\,h} \quad \ldots\ldots (2\text{A.})$$

Кривая линія, по которой сгибается балка могла бы быть начерчена при помощи уравненія (1.), если бы большая длина радіусовъ кривизны и малость ординатъ кривой недѣлали весьма затруднительнымъ и безполезнымъ начертанія этой кривой въ настоящемъ ея видѣ. Вмѣсто этаго можно употребить способъ принадлежащій, на сколько извѣстно, Г. Уильду для выраженія вида кривой чертежомъ, въ которомъ ординаты увеличены, но по которому можно судить объ ихъ относительныхъ размѣрахъ и объ уклонахъ кривой линіи въ разныхъ точкахъ.

Для этаго надобно вычислить радіусы кривизны для нѣсколькихъ равно удаленныхъ точекъ балки, уменьшить эти радіусы въ какомъ нибудь отношеніи и начертить дуги круговъ, составляющихъ кривую этими уменьшенными радіусами; ординаты полученной такимъ образомъ линіи будутъ въ столько же разъ увеличены противъ горизонтальныхъ разстояній, во сколько радіусы кривизны были уменьшены.



Чер. 146.



Чер. 147.

2й *пріемъ.* Найти *уклонъ* или тангентъ угла наклоненія, которое приметъ какая нибудь часть балки относительно первоначальнаго ея положенія. Рѣшеніе этаго вопроса основано на томъ свойствѣ, что *разность уклоновъ при двухъ точкахъ кривой равна произведенію разстоянія между ними на среднюю кривизну части линіи, заключающейся между этими точками.* Для того чтобъ выразить это математическими знаками, назовемъ dx длину какой нибудь части линіи, $1:r$ среднюю ея кривизну, di разность уклоновъ кривой при двухъ крайнихъ точкахъ этой части, тогда

$$di = \frac{dx}{r} \ldots\ldots\ldots (3.)$$

Означимъ i_0 уклонъ кривой въ той точкѣ, которая принята за начало координатъ; i уклонъ въ точкѣ, которой разстояніе отъ этаго начала есть x'; предположите что это разстояніе x' раздѣлено на безконечное число частей равныхъ dx; вичислите кривизну каждой части по уравненію (1.) и послѣдовательныя разности уклоновъ по уравненію (3.); возьмите сумму этихъ величинъ или интегрируйте ихъ и получите всю величину разности между искомымъ уклономъ и уклономъ у начала координатъ

$$i = i_0 + \int_0^{x'} \frac{dx}{r} \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Когда балка такъ поддержана и нагружена, что въ ней есть точка безъ уклона, то эту точку выгодно принять за начало координатъ. Это бываетъ въ двухъ случаяхъ: когда балка укрѣплена однимъ концомъ и нагружена на висячей части (чер. 147), точка безъ уклона есть точка опоры A; когда балка поддержана на обоихъ концахъ и нагружена симметрически (чер. 146 представляетъ половину такой балки), тогда точка безъ уклона находится по срединѣ A. Касательную въ этой точкѣ принимаютъ за ось координатъ, по которой измѣряется x'; тогда

$$i_0 = 0 \text{ и } i = \int_0^{x'} \frac{dx}{r} \ldots\ldots (5.)$$

Это обыкновенно встрѣчающіеся на дѣлѣ случаи. Въ другихъ случаяхъ уклонъ i_0 у начала координатъ остается

неопредѣленнымъ до тѣхъ поръ, пока не конченъ 3й пріемъ этаго рѣшенія.

Изъ уравненія (3.) выводятся слѣдующіе законы для подобныхъ балокъ изъ одинаковаго матеріала и подобнымъ образомъ нагруженныхъ:

Уклоны у соотвѣтственныхъ точекъ находятся въ отношеніи длины и кривизны.

При равныхъ грузахъ, уклоны въ соотвѣтственныхъ точкахъ прямопропорціональны длинамъ и обратно пропорціональны ширинамъ и кубамъ высотъ.

При безопасныхъ нагрузкахъ, уклоны въ соотвѣтственныхъ точкахъ прямо пропорціональны длинамъ и обратно пропорціональны высотамъ.

Слѣдующія формулы выражаютъ эти законы, въ ихъ приложеніи къ отысканію точекъ наибольшаго уклона въ данной балкѣ; точки эти находятся обыкновенно на самомъ дальнемъ разстояніи отъ точекъ безъ уклона, напримѣръ въ D на чертежахъ 146 и 147.

При данномъ грузѣ W, $i'_1 = \dfrac{m''' \, W \, c^2}{E \, n' \, b \, h^3}$ . . . . . (6.)

При безопасной нагрузкѣ $i_1 = \dfrac{m'' \, f' \, c}{E \, m' \, h}$ . . . . . (7.)

а при сѣченіи равной крѣпкости

$$i_1 = \frac{m'' \, (f'_a + f'_b) \, c}{E \, h} \quad \ldots\ldots\ldots (7\,\text{A.})$$

Для балокъ укрѣпленныхъ однимъ концомъ $c = l$, въ случаѣ балки поддержанной на обоихъ концахъ $c = l : 2$.

Коефиценты m' и n' тѣ самые, которые входятъ въ уравненія (3.) и (4.) § 162, величины ихъ находятся въ таблицѣ § 163.

Коефиценты m'' и m''' зависятъ отъ разпредѣленія груза, способа поддержанія балки и отъ продольнаго ея сѣченія. Примѣры численныхъ ихъ величинъ даны будутъ въ таблицѣ. Онѣ находятся въ слѣдующемъ отношеніи:

$$\left.\begin{array}{l} \text{въ балкѣ, укрѣпленной однимъ концомъ } m''' = m\,m'' \\ \text{въ балкѣ, поддержанной у обоихъ концовъ } m''' = 2\,m\,m'' \end{array}\right\} (8.)$$

здѣсь m есть коефиціентъ, котораго значеніе видно изъ

уравненія (1.) § 161 а численныя его величины для нѣкоторыхъ случаевъ находятся въ таблицѣ тогоже параграфа.

3й *пріемъ*. Найти *прогибъ*, или пониженіе низшей точки балки относительно того положенія, которое она занимала, когда балка представляла прямую линію.

Пусть dx разстояніе между двумя точками согнутой балки, i средній уклонъ кривой между этими точками, dv возвышеніе одной точки надъ другою.

$$dv = i\,dx \ldots\ldots (9.)$$

Примите какую нибудь точку кривой за начало координатъ; пусть x' разстояніе отъ нея до нѣкоторой точки на кривой; вообразите что это разстояніе раздѣлено на неопредѣленное число частей, которыхъ длина есть dx; вычислите, какъ въ 2мъ пріемѣ, уклонъ каждой части, и по уравненію (9.) относительную высоту ея концовъ; возьмите сумму такихъ величинъ или интегралъ ихъ и получите возвышеніе или пониженіе точки x' относительно начала координатъ т. е. будете имѣть

$$v = \int_0^{x'} i\,dx \ldots\ldots (10.)$$

Это уравненіе окончательно опредѣляетъ форму, которую принимаетъ согнутая ось балки, бывшая прямою линіей до нагрузки.

Въ тѣхъ двухъ случаяхъ, которые представлены на чертежахъ 146 и 147, выгоднѣе всего принять за начало координатъ ту точку, гдѣ нѣтъ уклона: въ симметрически нагруженной балкѣ (чер. 146) такая точка находится на срединѣ балки, а прогибомъ будетъ возвышеніе надъ нею точки опоры D; въ балкѣ, укрѣпленой однимъ концомъ, начало координатъ въ точкѣ опоры, а прогибъ есть пониженіе точки D, висячаго конца балки.

При симметрически нагруженной балкѣ $v = \int_0^{\frac{l}{2}} i\,dx$

При балкѣ укрѣпленной однимъ концомъ $v = \int_0^{l} i\,dx$ } 11.

Въ другихъ случаяхъ начало координать берется въ точкѣ опоры; условіе неподвижности другой точки опоры, для которой $v = o$ даетъ уравненіе, изъ котораго опредѣлится i_0 для вставленія въ уравненіе (4.); положеніе

высшихъ и низшихъ точекъ кривой линіи опредѣляется уравненіемъ $i = o$, потому что въ этихъ точкахъ касательныя горизонтальны.

Изъ уравненія (9.) выводятся для подобныхъ балокъ изъ одинаковаго матеріяла и подобнымъ образомъ нагруженныхъ слѣдующіе законы:

При одинакихъ грузахъ прогибы прямопропорціональны кубамъ длины и обратно пропорціональны ширинамъ и кубамъ высотъ.

При безопасныхъ нагрузкахъ прогибы прямопропорціональны квадратамъ длины и обратно пропорціональны высотѣ.

Законы эти выражаются слѣдующими формулами:

При данномъ грузѣ W.

$$v'_1 = \frac{n''' \, W \, c^3}{E \, n' \, b \, h^3}; \ldots\ldots (12.)$$

при безопасной нагрузкѣ

$$v'_1 = \frac{n'' \, f' \, c^2}{E \, m' \, h} \ldots\ldots (13.)$$

въ балкѣ равной крѣпкости

$$v'_1 = \frac{n'' \, (f'_a + f'_b) \, c^2}{E \, h} \ldots\ldots (13 A.)$$

Когда балка укрѣплена однимъ концомъ $c = l$, въ балкѣ поддержанной на обоихъ концахъ $c = l : 2$.

Коефиціенты m' и n' имѣютъ тѣже значенія, какъ въ уравненіяхъ (3.) и (4.) § 162, а численныя ихъ величины для нѣкоторыхъ случаевъ имѣются въ таблицѣ при этомъ параграфѣ.

m' и n''' суть коефиціенты, зависящіе отъ расположенія груза, способа поддержанія балки и продольнаго ея сѣченія: вотъ ихъ взаимныя отношенія

$$\left.\begin{array}{l} \text{въ балкѣ укрѣпленной однимъ концомъ } n''' = n\,n \\ \text{въ балкѣ поддержанной у обоихъ концовъ } n''' = 2\,n\,n'' \end{array}\right\} (14.)$$

Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены величины коефиціентовъ уравненій (6.), (7.), (7 А.), (12.), (13.) и (13 А.)

Случаи.	Безопасная нагрузка, коефициенты Уклона. m''	Прог. n''	Всякая нагрузка, коефициенты Уклон. m'''	Прог. n'''
А. Однообразное поперечное сѣченіе.				
I. Постоянный моментъ сгиба	1	$\frac{1}{2}$		
II. Балка укрѣплена однимъ концомъ и нагружена на другомъ	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
III. Балка укрѣплена однимъ концомъ и нагружена равномѣрно	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$
IV. Балка поддержана у обоихъ концовъ, грузъ по срединѣ	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$
V. Балка поддержана у обоихъ концовъ и нагружена равномѣрно . . .	$\frac{2}{3}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{5}{48}$
Б. Равная крѣпкость и одинакая высота. (§ 165.)				
VI. Укрѣпленіе на одномъ концѣ, грузъ на другомъ	1	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$
VII. Укрѣпленіе на одномъ концѣ, грузъ разпредѣленъ равномѣрно .	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
VIII. Опоры на обоихъ концахъ, грузъ по срединѣ	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
IX. Опоры на обоихъ концахъ, грузъ разпредѣленъ равномѣрно .	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
В. Равная крѣпкость и одинакая ширина.				
X. Укрѣпленіе на одномъ концѣ, грузъ на другомъ.	2	$\frac{2}{3}$	2	$\frac{2}{3}$

Случаи.	Безопасная нагрузка, коефиценты Уклона. m''	Прог. n''	Всякая накрузка, коефиценты Уклон. m'''	Прог. n'''
XI. Укрѣпленіе на одномъ концѣ, грузъ равномѣрно разпредѣленъ.	безконечно	1	безконечно	$\frac{1}{2}$
XII. Опоры на обоихъ концахъ, грузъ по срединѣ	2	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{1}{3}$
XIII. Опоры у обоихъ концовъ, грузъ равномѣрно разпредѣленъ	1.5708	0.5708	0.3927	0.1427

На дѣлѣ коефиценты m'' и n'' для балокъ равной крѣпкости нѣсколько болѣе помѣщенныхъ въ этой таблицѣ, при составленіи которой нельзя было принять во вниманіе тотъ прибавочный матеріалъ, который бываетъ на концахъ балокъ и увеличиваетъ ихъ устойчивость. Погрѣшность въ величинѣ n'' очень мала, а въ величинѣ m'' нѣсколько болѣе, какъ показалъ опытъ.

Уравненіе (13) даетъ возможность опредѣлить *наибольшее напряженіе* по данному прогибу балки.

Пусть h означаетъ высоту балки въ томъ мѣстѣ, гдѣ дѣйствуетъ наибольшее напряженіе, $m'h$ разстояніе отъ неутральной оси до той стороны балки, которой наибольшее напряженіе надобно опредѣлить; здѣсь m' есть коефиціентъ, котораго зависимость отъ формы поперечнаго сѣченія объяснена въ § 162.

Пусть c есть половина длины балки поддержанной у обоихъ концовъ или длина балки укрѣпленной однимъ концомъ; n'' коефицентъ безопаснаго прогиба; E коефицентъ упругости матеріала; v замѣченный прогибъ.

$$p' = \frac{E m' h v'}{n'' c^2} \quad \ldots\ldots (15.)$$

170. Отношеніе высоты балки къ ея длинѣ всегда такъ назначается, чтобы отношеніе прогиба балки къ ея длинѣ не превышало нѣкотораго предѣла, указываемаго опытомъ. Отношеніе это по существующимъ примѣрамъ есть слѣдующее

для дѣйствующаго груза $\frac{v_1}{l}$ отъ $\frac{1}{600}$ до $\frac{1}{1500}$

для безопасной нагрузки $\frac{v_1}{l}$ отъ $\frac{1}{200}$ до $\frac{1}{600}$

Отношеніе $h_0 : l$ наибольшей толщины балки къ ея длинѣ для того, чтобы балка имѣла требуемую жесткость, получается изъ уравненія (13.) § 169, изъ котораго выводится, что

$$\frac{v_1}{l} = \frac{n'' f' c}{2 \mathrm{E} m' h_0} = \frac{n'' f' l}{4 \mathrm{E} m' h_0}$$

а отсюда

$$\frac{h_0}{l} = \frac{n'' f'}{4 m' \mathrm{E}} \cdot \frac{l}{v_1} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

Въ этомъ выраженіи есть три множителя: отношеніе $n'' : 4 m'$ завизящее отъ разпредѣленія груза и формы балки; $l : v_1$ данное отношеніе прогиба къ длинѣ балки; $f' : E$ есть безопасное изкаженіе, или дѣйствительное самого матеріала. Когда поперечное сѣченіе принадлежитъ балкѣ равной крѣпкости, какъ § 164, то уравненію (1.) можно дать видъ.

$$\frac{h_0}{l} = \frac{n'' (f'_a + f'_b) l}{4 \mathrm{E} v_1} \ldots\ldots\ldots (2.)$$

1й Примѣръ. Дѣйствующій грузъ разпредѣленъ равномѣрно по балкѣ, имѣющей однообразное поперечное сѣченіе какъ вверху, такъ и внизу.

Тогда $n'' = 5 : 12$; $m' = 1 : 2$; пусть $l : v_1 = 1000$ данное отношеніе прогиба къ длинѣ. Когда балка желѣзная, то безопасное изкаженіе $f : E$ есть $1 : 3000$, и потому

$$\frac{h_0}{l} = \frac{5}{24} \cdot \frac{1000}{3000} = \frac{5}{72} = \frac{1}{14.4}$$

Это отношеніе очень близко къ тому, которое принято для рѣшетчатыхъ желѣзныхъ фермъ.

2й Примѣръ. Дѣйствующій грузъ разпредѣленъ равномѣрно; поперечное сѣченіе равной крѣпкости; продольное сѣченіе одинакой крѣпкости и одинакой высоты (§ 165. Случай IV).

Въ этомъ случаѣ $n'' = 1 : 2$; пусть $l : v_1 = 1000$. Возьмемъ желѣзную балку, и коефицентъ благонадежности 6, пусть $f'_a = 150$; $f'_b = 250$, а $\mathrm{E} = 700{,}000$. Тогда

$$\frac{h_0}{l} = \frac{1}{8} \cdot \frac{400 \times 1000}{700000} = \frac{1}{14}$$

почти тоже, что и въ предъидущемъ примѣрѣ.

3й Примѣръ. При тѣхъ же данныхъ условіяхъ какъ въ второмъ примѣрѣ, возьмемъ чугунную балку; тогда $f'_a = 333$; $f'_b = 83$, $E = 416600$.

Когда допускается отношеніе прогиба къ длинѣ балки въ $1:600$ то $h_0 : l = 1:13{,}3$; а при $l : v_1 = 800$, имѣемъ $h_0 : l = 1:10$.

171. Общій ходъ проэктированія балки при данномъ матеріалѣ, данной нагрузкѣ, разпредѣленной извѣстнымъ образомъ и при данной ея длинѣ есть слѣдующій:

I. Выберите форму поперечнаго сѣченія: прямоугольная ли, одинаковая вверху и внизу, тавровая ли, двойная ли тавровая, равной крѣпости и т. п. (см. § 164.) также назначьте какое будетъ продольное ея сѣченіе (§ 165).

II. Опредѣлите ея высоту по соображеніямъ, указаннымъ въ § 170.

III. Найдите сдвигающее напряженіе и моментъ сгиба въ достаточномъ числѣ поперечныхъ сѣченій и наибольшую сдвигающую силу и наибольшій моментъ сгиба по § 160 и 161.

IV. Помножьте наибольшій моментъ сгиба на приличный коефицентъ благонадежности, который при движущемся грузѣ долженъ быть 6; это будетъ разрушающій моментъ перелома. Подобнымъ же образомъ наибольшая сдвигающая сила, помноженная на коефицентъ благонадежности, даетъ крайнее сопротивленіе скалыванію у того сѣченія, гдѣ сдвигающая сила есть наибольшая.

V. Приблизительное произведеніе ширины на квадратъ ея высоты найдется, когда раздѣлите наибольшій моментъ сгиба M_0 на коефицентъ перелома f и на коефицентъ n (§ 162 уравненіе (5.) и таблица коефицентовъ n). Или

$$b' h^2 = \frac{M o}{n f} \ldots\ldots (1.)$$

Изъ этаго уравненія опредѣлится приблизительная ширина балки b'.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ напримѣръ при тавровой и двойной тавровой формѣ, этотъ способъ не удобенъ; тутъ надобно опредѣлить приблизительную площадь попе-

речнаго сѣченія поданнымъ моменту сопротивленія M_0 и высотѣ h балки посредствомъ уравненій отъ (1.) до (5) въ § 163 и по формуламъ, приведеннымъ въ § 164.

VI. Понайденной крайней ширинѣ и высотѣ, или крайней площади поперечнаго сѣченія, гдѣ моментъ сгиба наибольшій, опредѣлите поперечные размѣры балки въ другихъ мѣстахъ.

VII. За тѣмъ вычислите вѣсъ балки. Если онъ невеликъ сравнительно съ величиною нагрузки, то опредѣленные прежде размѣры будутъ годиться.

VIII. Когда вѣсъ балки значителенъ, то опредѣленные размѣры будутъ только приблизительные и ихъ надобно увеличить въ отношеніи показанномъ въ § 167 уравненіи (1.); вѣсъ балки увеличится въ томъ же отношеніи.

Посредстомъ уравненія (2.) того же § 167, отношеніе вѣса балки къ внѣшнему грузу можетъ быть найдено приблизительно, если крайняя высота или діаметръ поперечнаго и продольнаго сѣченія назначены; тогда разрушающій грузъ можетъ быть приблизительно найденъ по уравненію (3.) и употребленъ для вычисленія крайняго сопротивленія перелому и скалыванію; откуда уже можно найти настоящую ширину и площадь сѣченія балки. Но когда употребленъ этотъ способъ, то надобно потомъ вычислить вѣсъ балки и посмотрѣть на сколько приблизительная его величина подходитъ къ настоящей.

IX. Изложенный въ § 168 способъ можетъ быть употребленъ для того, чтобы повѣрить достаточно ли сопротивленіе скалывающей силѣ.

172. Внезапная нагрузка. Быстродвижущійся грузъ. Внезапно приложенный къ балкѣ грузъ производитъ въ ней напряженіе, а слѣдовательно и изкаженіе вдвое больше того, какое произвелъ бы этотъ же грузъ, если бы до него дошли постепенно увеличивая нагрузку отъ нуля, также точно какъ это бываетъ при вытягиваніи.

Дѣйствіе подвижнаго груза, которое испытываютъ мосты на желѣзныхъ дорогахъ при движеніи по нимъ поѣздовъ, есть среднее между внезапно приложеннымъ грузомъ и постепенно возрастающимъ: математическое изслѣдованіе этаго дѣйствія произведено было Г. Стоксомъ, а опытное Г. Гальтономъ; выводы этихъ изслѣдованій помѣщены въ рапортѣ коммиссіи объ употребленіи чугуна и

желѣза въ сооруженіяхъ на желѣзныхъ дорогахъ. (Журн. П. С и П. З. Томъ XIII. стр. 10).

Противъ усиленнаго искаженія происходящаго отъ внезапности нагрузки или быстроты движенія груза берется указанная уже прежде мѣра, и именно коефицентъ благонадежности принимается вдвое болѣе для подвижнаго груза нежели для постояннаго.

173. Отпоръ балки есть работа, производимая силою, которая даетъ балкѣ безопасный прогибъ; или это есть мѣра наибольшаго удара, который балка можетъ безопасно выдержать: она выражается произведеніемъ вѣса на высоту, съ которой грузъ долженъ упасть для того, чтобы произвести этотъ ударъ. Если грузъ сосредоточенъ въ одномъ мѣстѣ или на маломъ пространствѣ, то она равна произведенію половины безопасной нагрузки на безопасный прогибъ; или если W есть безопасная нагрузка, v_1 соотвѣтственный прогибъ, то отпоръ балки равенъ

$$\frac{W v_1}{2} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

При разпредѣленномъ грузѣ балка дѣлится на малыя части, и половина безопаснаго груза лежащаго на каждой изъ нихъ умножается на пониженіе этой части во время прогибанія балки. Пусть u есть это пониженіе, то для балки укрѣпленной однимъ концомъ

$$u = v$$

для балки поддержанной на обоихъ концахъ

$$u = v_1 - v \Bigg\} \ldots\ldots (2.)$$

Элементъ длины балки назовемъ dx, нагрузку на погонной единицѣ w, тогда отпоръ балки будетъ

$$\frac{1}{2}\int u w\, dx \ldots\ldots (3.)$$

Опредѣленіе величины отпора полезно на практикѣ въ тѣхъ случаяхъ, когда грузъ находится въ одной точкѣ.

Положимъ что балка укрѣплена однимъ концомъ, а грузъ находится на другомъ, что длина выступающей части балки есть c, тогда отпоръ

$$\frac{W v_1}{2} = \frac{n n''}{2 m'} \cdot \frac{f^{12}}{E} \cdot c\, b\, h \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Выраженіе это состоитъ изъ трехъ множителей.

(1.) Объема призмы описанной около балки $c\,b\,h$.

(2.) Коефицента отпора $f'^2 : E$, того рода объ которомъ говорено въ § 149.

(3.) Численнаго коефиціента $\frac{n\,n''}{2\,m'}$; въ немъ n и m' зависятъ отъ формы поперечнаго сѣченія балки, а n'' отъ продольнаго ея сѣченія и отъ плана ея (см. § 162 и 169). Вотъ его численныя значенія при прямоугольномъ сѣченіи балки, когда $n = 1:6$ и $m' = 1:2$, и слѣдовательно.

$$\frac{n\,n''}{2\,m'} = \frac{n''}{6}$$

I. Одинакая ширина и высота . . . . . $\frac{n''}{6} = \frac{1}{18}$

II. Равная крѣпкость, одинакая высота . . . . . $\frac{n''}{6} = \frac{1}{12}$

III. Равная крѣпкость, одинакая ширина . . . . . $\frac{n''}{6} = \frac{1}{9}$

Когда балка поддержана на обоихъ концахъ и нагружена по срединѣ, то длина есть $l = 2\,c$; безопасный ея прогибъ тотъ же, что и балки тѣхъ же поперечныхъ размѣровъ, но вдвое меньшей длины, укрѣпленной однимъ концомъ и нагруженной на другомъ; безопасная же ея нагрузка вдвое болѣе, а потому и отпоръ вдвое болѣе. Для балокъ прямоугольной формы длиною $2\,c$, нагруженныхъ по срединѣ всѣ численные коефиценты вдвое болѣе, т. е. они суть $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{6}$ и $\frac{2}{9}$.

174. Дѣйствіе кручения на брусъ. Такъ какъ въ инженерныхъ строеніяхъ брусья никогда не подвергаются значительной скручивающей силѣ, то въ этомъ сочиненіи излишне будетъ излагать полную теорію сопротивленія скручиванію и свертыванію. Для рѣшенія вопросовъ встрѣчающихся на практикѣ, достаточно знать слѣдующіе законы:

I. Моментъ кручения есть моментъ двухъ равныхъ и противоположныхъ паръ, которыя дѣйствуя въ двухъ точкахъ бруса, находящихся въ нѣкоторомъ разстояніе одна отъ другой, скручиваютъ часть бруса между этими точками и стремятся разрушить ее свертываніемъ.

II. Крайній моментъ сопротивленія бруса скручиванію бываетъ отъ полутора до двухъ разъ болѣе момента сопротивленія поперечному перелому.

III. Предположите, что грузъ W дѣйствующій на балку и поддерживающія силы находятся не въ плоскости средняго продольнаго и отвѣснаго ея сѣченія, а по которую нибудь его сторону, на разстояніи L и въ плоскости ему параллельной, тогда кромѣ момента сгиба (M.), опредѣляемаго какъ въ § 160 въ каждомъ поперечномъ сѣченіи дѣйствуетъ еще моментъ крученія

$$T = P_1 L \ldots\ldots (1.)$$

гдѣ p_1 есть наибольшее поддерживающее усиліе.

При опредѣленіи момента сопротивленія (M'_1) балки, для того чтобы она имѣла достаточную крѣпкость, слѣдующая формула даетъ близкіе къ истинѣ выводы.

$$M_1 = \sqrt{\frac{M^2}{4} + T^2} + \frac{M}{2} \ldots\ldots (2.)$$

Размѣры балки опредѣляются принимая величину M_1 вмѣсто M за моментъ сгиба, соотвѣтственный грузу.

175. Разширеніе и сжатіе длиной балки отъ перемѣнъ температуры заставляетъ укрѣплять неподвижно одинъ только ея конецъ и класть другой на катки изъ стали или чугуна. Прилагаемая таблица даетъ линейное разширеніе разныхъ веществъ при возвышеніи температуры отъ 0^0 до 80^0 Р, т. е. отъ температуры тающаго снѣга до температуры кипѣнія воды.

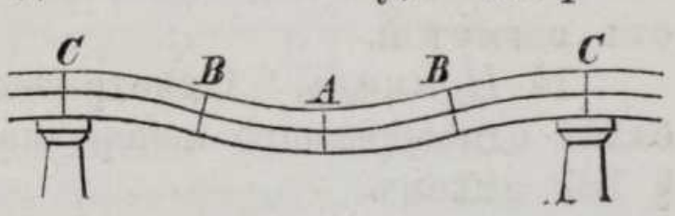
Бронза	0.00181
Гранитъ	0.0008 — 0.0009
Дерево	0.000428 — 0.000566
Желѣзо и сталь	0.00114 — 0.00125
Золото	0.0015
Кирпичь обыкновенный	0.000355
„ огнеупорный	0.0005
Мраморъ	0.00065 — 0.0011
Мѣдь красная	0.00216
„ желтая	0.00184
Олово	0.002 — 0,0025
Песчаникъ	0.0009 — 0.0012
Платина	0.0009

Свинецъ	0.0029
Серебро	0.002
Сланецъ глинистый	0.00104
Стекло	0.0009
Цементъ	0.0014
Цинкъ	0.00294

Разширеніе камней взято изъ опытовъ Г. Ади, а дерева изъ опытовъ Жуля (Proceed. Roy. Soc. Nov. 5,1857); тутъ показано разширеніе сухаго дерева вдоль волоконъ. Г. Жуль нашелъ, что сырость уменьшаетъ, уничтожаетъ и даже дѣлаетъ обратною способность дерева разширяться отъ тепла, и что натянутость увеличиваетъ ее.

176. Балка укрѣпленная обоими концами. Все что до сихъ поръ говорилось относилось къ балкамъ, которыя или были укрѣплены однимъ концомъ и нагружены на висячей части, или поддержаны на обоихъ концахъ и нагружены между ними; тутъ опредѣленіе сдвигающаго усилія, момента сгиба, кривизны, уклона и прогиба шли послѣдовательно одно за другимъ. Теперь перейдемъ къ такимъ случаямъ въ которыхъ сдвигающая сила и моментъ сгиба зависятъ въ большей или меньшей степени отъ кривизны, уклона и прогиба; тутъ при рѣшеніи уравненій придется исключать неизвѣстныя, которыхъ будетъ иногда двѣ или три въ такомъ же числѣ уравненій.

Балка укрѣплена и въ тоже время поддержана на обоихъ концахъ, когда двѣ противоположныя и равныя пары дѣйствуютъ въ точкахъ опоры и удерживаютъ ось балки въ горизонтальномъ положеніи, уменьшая прогибъ, уклонъ и кривизну промежуточной части. Этаго достигаютъ поддерживая непрерывную балку въ нѣсколькихъ точкахъ, или продолжая ее за точки опоры и нагружая или укрѣпляя висячія части такъ, чтобы образовались требуемыя пары. Чертежъ 148 представляетъ балку, поддержанную въ точкахъ C и C нагруженную на пространствѣ между ними, а за этими точками такъ укрѣпленную или такъ нагруженную, что ось балки въ этихъ точкахъ горизонтальна, и не имѣетъ уклона i''_1, который она имѣла бы если бы балка была только поддержана, а не укрѣплена.



Чер. 148.

Въ отвѣсныхъ сѣченіяхъ поверхъ точекъ опоры C и C проявляется горизонтальное напряженіе, равномѣрно измѣняющееся, распоръ внизу и натянутость на вверху; моментъ этой пары напряженій есть моментъ, удерживающій ось балки въ горизонтальномъ положеніи. Надобно опредѣлить во первыхъ этотъ моментъ сопротивленія въ отвѣсной плоскости опоры, откуда найдется также и напряженіе матеріала; во вторыхъ дѣйствіе этаго момента на кривизну, уклонъ, прогибъ и крѣпкость балки.

Общій способъ рѣшенія этаго вопроса есть слѣдующій: при помощи уравненія (5.) въ § 169 вычислите уклонъ i'_1, который неутральная поверхность балки имѣла бы у C, C если бы балка была тутъ поддержана, а не укрѣплена. Потомъ по выраженію $\mathrm{E\,I}\,i'_1 : c$ найдите однообразный моментъ сгиба, который если бы дѣйствовалъ на балку такъ, чтобы согнуть ее выпуклостью вверхъ, то произвелъ бы въ точкахъ C уклонъ равный и противный i'_1: это будетъ искомый моментъ сопротивленія балки, такъ что если его вставить въ уравненія § 162, 163 и 164 вмѣсто M_0 то условія крѣпкости балки будутъ опредѣлены. Назовите этотъ моментъ $-M_1$: отрицательный знакъ ставится потому, что онъ стремится выгнуть балку вверхъ, а грузъ выгибаетъ ее внизъ.

Пусть M моментъ сгиба въ какой нибудь ея точкѣ, когда она только поддержана въ C и C; дѣйствительный моментъ сгиба есть $M - M_1$, его то и надобно подставить вмѣсто M въ уравненія § 169, чтобы опредѣлить кривизну, уклонъ и прогибъ какъ при безопасной, такъ и при всякой нагрузкѣ.

Когда M болѣе M_1 какъ въ точкѣ A, то балка обращена выпуклостью внизъ; когда M менѣе M_1, какъ въ точкахъ C, то балка выгнута вверхъ; между A и C есть точки B гдѣ $M = M_1$; тутъ нѣтъ момента сгиба, нѣтъ и кривизны, и на балку дѣйствуетъ только сдвигающая сила; это точки *перегиба*, онѣ отдѣляютъ выпуклую часть балки отъ вогнутой.

1й *Примѣръ.* Симетрически разположенный грузъ на балкѣ однообразнаго поперечнаго сѣченія. По уравненію (6.) § 169 имѣемъ

$$i'_1 = \frac{2\,m\,m''}{n'}\,\frac{\mathrm{W}\,c^2}{\mathrm{E}\,b\,h^3};$$

а по случаю I изъ таблицы въ томъ же параграфѣ.

$$M_1 = \frac{EI i'_1}{c} = \frac{n' E b h^3 i'_1}{c} =$$

$$= 2 m'' m W c = m'' . m W l = m'' . M_0 . . . . . (1.)$$

M_0 есть та величина момента сгиба въ точкѣ A, которую бы онъ имѣлъ, еслибы балка была только поддержана. Величина m'' извѣстна изъ таблицы § 169.

Пусть M_0' есть дѣйствительный моментъ сгиба въ A.

Тогда $$M'_0 = (1 - m'') M_0 . . . . . (2.)$$

Наибольшій моментъ сгиба долженъ быть въ A или C или въ обѣихъ точкахъ разомъ, если моменты въ этихъ точкахъ равны и противоположны.

Но при балкакъ однообразнаго сѣченія m'' никогда не болѣе $\frac{1}{2}$, по этому наибольшій моментъ сгиба можетъ быть въ C или въ C и A, но никогда въ одной только точкѣ A.

Крайняя крѣпкость или наибольшій моментъ сопротивленія балки, выражается слѣдующею формулою получаемою подстановного M_1 вмѣсто $m\,Wl$ въ уравненіе (6.) § 162.

$$M_1 = m'' m W l = n f b h^2 . . . . . (3.)$$

Здѣсь W есть разрушающій грузъ, а f коефицентъ перелома.

Изъ этаго слѣдуетъ что, укрѣпляя концы балки такъ, чтобы она была горизонтальна въ точкахъ опоры, крѣпкость ея увеличиваютъ въ отношеніи $1 : m''$.

Прогибъ получается вычетомъ прогиба соотвѣтствующаго однообразному моменту M_1 изъ того, который произвелъ бы грузъ на балку, еслибъ она была только поддержана въ C и C

$$v_1 = \left(\frac{n''}{m''} - \frac{1}{2}\right) \frac{M_1 c^2}{EI} = \left(n'' - \frac{m''}{2}\right) \frac{M_0 c^2}{EI} . . (4.)$$

Численныя величины n'' помѣщены въ таблицѣ § 169. Изъ этаго видно, что горизонтальное укрѣпленіе концовъ увеличиваетъ жесткость балки въ отношеніи $2n'' : 2n'' - m''$.

Если въ первомъ выраженіи величины прогиба, принять M_1 за моментъ сопротивленія соотвѣтствующій безопасному или предѣльному напряженію у сѣченія C, то

можно сдѣлать $M_1 : I = f' : m' h$, и тогда получится слѣдующее выраженіе для прогиба при безопасной нагрузкѣ.

$$v_1 = \left(\frac{n''}{m''} - \frac{1}{2}\right) \frac{f c^2}{E m' h} \ldots . \quad (5.)$$

онъ менѣе безопаснаго прогиба просто опирающейся балки, даннаго уравненіемъ (13.) § 169, въ отношеніи

$$\left(\frac{n''}{m''} - \frac{1}{2}\right) : n''.$$

Точки перегиба во всякомъ частномъ случаѣ опредѣляются рѣшеніемъ уравненія

$$M - M_1 = 0 \ldots . \quad (6.)$$

Слѣдующіе два примѣра будутъ частные случаи этаго общаго примѣра.

2й *Примѣръ.* Одинакое поперечное сѣченіе, грузъ по срединѣ.

$$\left.\begin{aligned} m = \frac{1}{4}, m'' = \frac{1}{2}; n'' = \frac{1}{3} \\ M'_0 = M_1 = \frac{1}{2} M_0 = \frac{1}{8} W l = \frac{1}{4} W c = n f b h^2 \\ v_1 = \frac{1}{6} \cdot \frac{f c^2}{E m' h}; \left(\frac{n'}{m''} - \frac{1}{2}\right) : n'' = \frac{1}{2} \end{aligned}\right\} \quad (7.)$$

точки перегиба на срединѣ между A и C.

3й *Примѣръ.* Одинакое поперечное сѣченіе, нагрузка равномѣрная

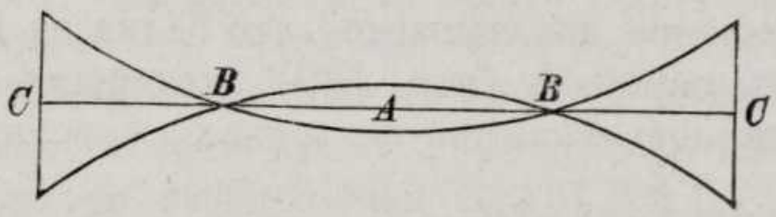
$$\left.\begin{aligned} W = w l = 2 c w \\ m = \frac{1}{8}, m'' = \frac{2}{3}, n'' = \frac{5}{12} \\ M_1 = \frac{2}{3} M_0 = \frac{1}{12} W l = \frac{1}{6} W c = n f b h^2 \\ M'_0 = \frac{1}{2} M_1 = \frac{1}{3} M_0 = \frac{1}{24} W l \\ v_1 = \frac{1}{8} \cdot \frac{f c^2}{E m' h}; \left(\frac{n''}{m''} = \frac{1}{2}\right) : n'' = \frac{3}{10} \end{aligned}\right\} \quad (8.)$$

Точки перегиба находятся отъ средины балки A въ разстояніи

$$c : \sqrt{3} = 0.577\, c = 0.289\, l \ldots\ldots (9.)$$

4й *Примѣръ.* Равная крѣпкость, одинакая высота, равномѣрный грузъ.

Въ этомъ случаѣ достигаютъ равной крѣпкости приданіемъ балкѣ въ каждой ея точкѣ ширины пропорціональной моменту сгиба, какъ показано на чер. 149, оставляя



Чер. 149.

въ точкахъ перегиба B и B только такую ширину, какая нужна для сопротивленія сдвигающей силѣ.

Кривизна балки равномѣрна и перемѣняетъ только направленіе въ точкѣ перегиба: поэтому части CB и BA на чер. 148, суть дуги круговъ, горизонтальныя въ точкахъ C и A и касательныя одна къ другой въ B; дуги эти имѣютъ одинакую длину, и точка перегиба находится на срединѣ между C и A.

Очевидно также что безопасный прогибъ балки долженъ быть вдвое больше прогиба однообразно согнутой балки тойже длины и поддержанной на концахъ; или половина прогиба однообразно согнутой балки тойже длины и поддержанной по концамъ, но не укрѣпленной; или

$$v_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{f c^2}{\mathrm{E}\, m' h} \ldots\ldots (10.)$$

Дѣйствующій моментъ сгиба въ A долженъ быть тотъ же, что въ балкѣ равномѣрно нагруженной на единицу длины грузомъ $w = W : 2c$, поддержаной но не укрѣпленной въ B и B или

$$\mathrm{M'_0} = \frac{\mathrm{W}\, c}{16} = \frac{\mathrm{W}\, l}{32} = \frac{\mathrm{M_0}}{4} \ldots\ldots (11.)$$

и слѣдовательно моментъ сгиба въ C есть

$$n f b_1 h^2 = \mathrm{M_1} = \mathrm{M_0} - \mathrm{M'_0} = \frac{3}{4}\,\mathrm{M_0} = \frac{3\,\mathrm{W}\, c}{16} = \frac{3\,\mathrm{W}\, l}{32} \ldots (12.)$$

здѣсь b' есть ширина балки въ точкѣ C, втрое бо́льшая нежели b_0 или ширина въ A.

Ширина b въ какой нибудь точкѣ отстоящей отъ A въ разстояніе x есть

$$b = \frac{1}{3}\left(1 - \frac{4x^2}{c^2}\right)b_1 = \left(1 = \frac{4x^2}{c^2}\right)b_0 \ldots \quad (13.)$$

Положительный или отрицательный знакъ при этомъ выводѣ будетъ означать направленіе кривизны.

Это уравненіе показываетъ, что балка въ планѣ имѣетъ форму двухъ параболъ (чер. 149), которыхъ вершины въ A и которыя пересѣкаются въ точкахъ перегиба B, B, для которыхъ $x = \pm\frac{c}{2}$.

177. Балка укрѣпленная однимъ концомъ и поддержанная на другомъ находится почти въ тѣхъ же условіяхъ какъ часть $CBAB$ (чер. 148) отъ укрѣпленнаго конца балки до дальнѣйшей точки перегиба, гдѣ балку можно считать поддержанной, но не укрѣпленной. Изъ этаго слѣдуетъ, что если непрерывная балка поддержана рядомъ опоръ, то крайнія отверстія должны относиться къ среднимъ какъ $c + x_0 : 2c$, гдѣ x_0 есть разстояніе отъ низшей точки A до точки перегиба.

178. Балки не совершенно укрѣпленныя по концамъ. Непрерывныя ребра. Непрерывность балки, поддержанной въ нѣсколькихъ точкахъ, не достаточна для обезпеченія ея горизонтальности, если не всѣ ея пролеты одинаково нагружены; слѣдовательно сказанное въ § 176 объ крѣпкости и жесткости такихъ балокъ относится только къ тѣмъ случаямъ, когда онѣ подвержены дѣйствію постояннаго груза, и не касается случаевъ дѣйствія временныхъ или подвижныхъ грузовъ.

При опредѣленіи момента сопротивленія, который балка должна имѣть въ тѣхъ частяхъ, которыми она лежитъ на опорахъ, надобно предполагать, что вся балка нагружена какъ постояннымъ, такъ и временнымъ грузомъ; для того чтобы найти M_1 надобно употребить изложенный въ § 176 способъ.

Но тотъ же самый способъ не даетъ достаточной величины для M_0, момента сопротивленія по срединѣ пролета; потому что наибольшій моментъ сгиба въ такой точкѣ бу-

деть тогда дѣйствовать, когда одинъ пролетъ поддерживаетъ постоянный грузъ и временной; а другой сосѣдній выдерживаетъ дѣйствіе однаго только постояннаго груза.

Опредѣленіе M'_0 можетъ, смотря по обстоятельствомъ, быть сдѣлано съ большей или меньшей степенью точности; слѣдующій приблизительный способъ даетъ погрѣшность въ выгодную сторону и есть наилучшій для того случая, когда постоянный грузъ сравнительно съ временнымъ очень не великъ.

1й *Способъ.* Вычислите ту часть величины M'_0, которая происходитъ отъ постояннаго груза, какъ для балки укрѣпленной обоими концами, (§ 176 уравненіе (2.) и часть соотвѣтствующую временному грузу, какъ для балки поддержанной, но не укрѣпленной (§ 161, VI случай). Или иначе: вычислите моментъ сгиба производимый обоими грузами, постояннымъ и временнымъ, на балку поддержанную по концамъ, и вычтите прежде опредѣленный моментъ сгиба M_1 на точкахъ опоры, производимый однимъ постояннымъ грузомъ.

Если w есть постоянный грузъ на погонную единицу длины балки, w' подвижной грузъ, то

$$M'_0 = \left(\frac{w + w'}{8}\right) l^2 - M_1 \quad \ldots\ldots (1.)$$

Напримѣръ для балки однообразнаго сѣченія и равномѣрно нагруженной

$$M_1 = \frac{w\,l^2}{12} \text{ и } M'_0 = \left(\frac{w}{3} + w^1\right)\frac{l^2}{8} \quad \ldots\ldots (2.)$$

Чтобы найти прогибъ, вычислите тотъ, который производится полнымъ грузомъ на балку, когда она поддержана по концамъ, и вычтите тотъ, который соотвѣствуетъ однообразному моменту M_1.

Этотъ способъ даетъ для балки подверженной данному грузу

$$v'_1 = (w + 5\,w')\frac{c^4}{24\,E\,I} \quad \ldots\ldots (3.)$$

гдѣ c есть половина пролета; а предполагая, какъ обыкновенно бываетъ, что M'_0 равно или болѣе M_1 т. е. что w'

равно или болѣе одной трети w и что наибольшее напряженіе находится по срединѣ, найдемъ безопасный прогибъ.

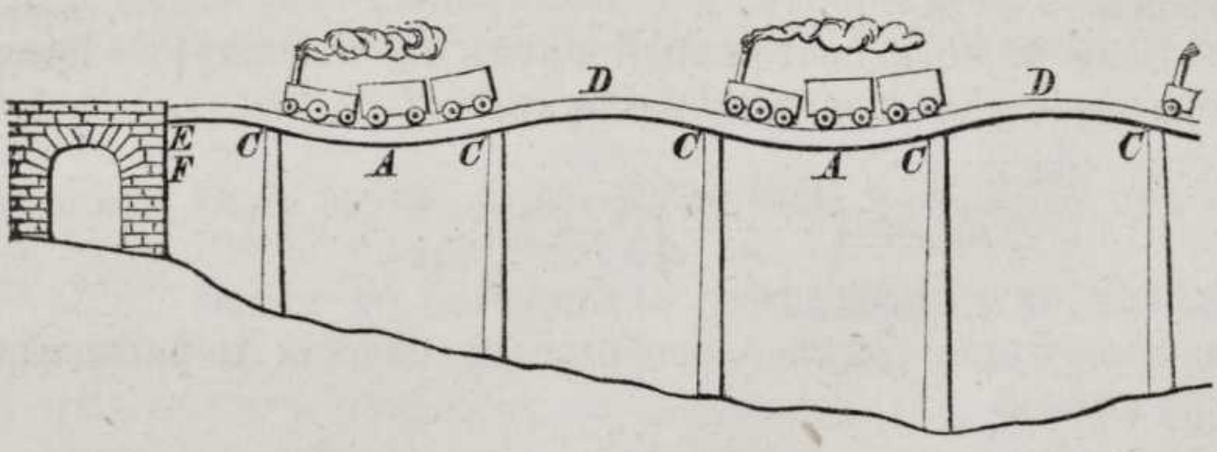
$$v_1 = \frac{w + 5w'}{w + 3w'} \cdot \frac{f c^2}{4 \mathrm{E} m' h} \quad \ldots . (4.)$$

Если же напротивъ M_1 болѣе или w' менѣе одной трети w то

$$v_1 = \frac{w + 5w'}{2w} \cdot \frac{f c^2}{4 \mathrm{E} m' h} \quad \ldots . (5.)$$

2й *Способъ.* Когда постоянная нагрузка болѣе, равна или немного менѣе подвижнаго груза на данной длинѣ ребра, то можно употребить слѣдующій способъ.

Чертежъ 150 представляетъ путепроводъ о нѣсколькихъ пролетахъ, поддержанный непрерывною фермою опирающеюся на устои C, C, C: крайній пролетъ CE короче другихъ; какъ опредѣляется его длина будетъ сказано послѣ.



Чер. 150.

Сначала представимъ себѣ, что мостъ состоитъ изъ безконечнаго числа равныхъ пролетовъ подверженныхъ черезъ одинъ дѣйствію наибольшихъ подвижныхъ грузовъ, занимающихъ цѣлые пролеты.

Пусть w означаетъ величину постояннаго груза на погонный футъ; w' величину подвижнаго груза; такъ что $w + w'$ есть нагрузка на погонную единицу длины пролетовъ A, A и т. д.; и w нагрузка на пролетахъ промежуточныхъ D, D и т. д.

Пусть — M_1 означаетъ неизвѣстный еще отрицательный моментъ сгиба въ точкахъ опоры C, C и т. д. Пусть x означаетъ разстоянія, считаемыя отъ точекъ A въ болѣе нагружныхъ пролетахъ, x' разстоянія отъ D въ менѣе на-

груженныхъ пролетахъ; c есть половина длины пролета; J моментъ инерціи, высота балки h, поперечное сѣченіе однообразное.

Моментъ сгиба M и уклонъ i будутъ:
для мало нагруженнаго пролета

$$\mathrm{M} = \frac{w}{2}(c^2 - x'^2) - \mathrm{M}_1,\ i = \frac{1}{\mathrm{E\,I}}\left\{\frac{w}{2}\left(c^2 x' - \frac{x'^3}{3}\right) - \mathrm{M}_1 x'\right\}$$

для сильно нагруженнаго пролета

$$\mathrm{M} = \frac{w+w}{2}(c^2 - x^2) - \mathrm{M}_1;\ i = \frac{1}{\mathrm{E\,I}}\left\{\frac{w+w'}{2}\left(c^2 x - \frac{x^3}{3}\right) - \mathrm{M}_1 x\right\}$$

Условіе непрерывности балки у точекъ опоры выражается тѣмъ, что при $x = c$ и $x' = -c$, уклонъ i долженъ быть одинъ и тотъ же, или должно быть справедливо уравненіе

$$-\frac{w\,c^3}{3} + \mathrm{M}_1\,c = \frac{(w+w')\,c^3}{3} - \mathrm{M}_1\,c$$

Откуда получается отрицательный моментъ сгиба

$$-\mathrm{M}_1 = \frac{(2\,w + w')\,c^2}{6} = \frac{(2\,w + w')\,l^2}{24} \ldots (6.)$$

Вставляя это въ выраженія момента сгиба и въ выраженіе уклона, выведемъ по способу. § 169:
для мало нагруженнаго пролета

$$\mathrm{M} = \frac{w-w'}{6}c^2 - \frac{w}{2}x'^2;\ i = \frac{1}{\mathrm{EI}}\left\{\frac{w-w'}{6}c^2 x' - \frac{w}{6}x'^3\right\};$$

$$v = \frac{1}{\mathrm{EI}}\left\{\frac{w-2\,w'}{24}c^4 - \frac{w-w'}{12}c^2 x'^2 + \frac{w}{24}x'^4\right\}$$

для сильно нагруженнаго пролета

$$\mathrm{M} = \frac{w+2\,w'}{6}c^2 - \frac{w+w'}{2}x^2;\ i = \frac{1}{\mathrm{E\,I}}\left\{\frac{w+2\,w'}{6}c^2 x - \frac{w+w'}{6}x^3\right\}$$

$$v = \frac{1}{\mathrm{E\,I}}\left\{\frac{w+3\,w'}{24}c^4 - \frac{w+2\,w'}{12}c^2 x^2 + \frac{w+w'}{24}x^4\right\}$$

Изъ этихъ уравненій выводятся слѣдующія важныя въ приложеніяхъ величины:

Моменты сгиба M'_0 у точки D, средины легко нагруженнаго и M_0 у точки A, средины сильно нагруженнаго пролета

$$M'_0 = \frac{w - w'}{6} c^2 = \frac{w - w'}{24} l^2; \; M^0 = \frac{w + 2w'}{6} c^2 = \frac{w + 2w'}{24} l^2 \quad (7.)$$

Наибольшій моментъ сгиба будетъ или M_0 у A или — M_1 у C, смотря по тому которая изъ двухъ величинъ w' и w больше.

Прогибы по срединѣ v'_1 въ мало и v_1 въ сильно нагруженномъ пролетѣ

$$v'_1 = (w - 2w') \frac{c^4}{24EI}; \; v_1 = (w + 3w') \frac{c^4}{24EI} \ldots (8.)$$

когда w менѣе $2w'$ то первое выраженіе отрицательное и прогибъ будетъ вверхъ.

При безопасной нагрузкѣ прогибъ по срединѣ сильно нагруженной части есть

$$\left.\begin{array}{l} \text{когда } w' > w \text{ и } M_0 > -M_1 \;\; v_1 = \dfrac{f' c^2}{4E m' h} \cdot \dfrac{w + 3w'}{w + 2w'} \\ \text{когда } w > w' \text{ и } -M_0 > M_0 \;\; v_1 = \dfrac{f' c^2}{4E m' h} \cdot \dfrac{w + 3w'}{2w + w'} \end{array}\right\} \quad (9.)$$

Соотвѣтственный прогибъ легко нагруженнаго пролета найдется умноженіемъ этихъ выраженій на $(w - 2w') : (w + 3w')$.

Точки перегиба находятся на слѣдующемъ разстояніи отъ средины сильно нагруженнаго пролета

$$x = \pm c \sqrt{\frac{w + 2w'}{3(w + w')}} \ldots\ldots (10.)$$

Въ легко нагруженномъ пролетѣ точки перегиба бываютъ отъ средины отверстія въ разстояніи

$$x' = \pm c \sqrt{\frac{w - w'}{3w}} \ldots\ldots (10\,A.)$$

при $w = w'$, средина балки не имѣетъ кривизны; при $w' > w$ вовсе нѣтъ перегиба.

CE есть часть фермы или балки у края моста, ея длина такова, что если она не поддержана въ E, то собственнымъ своимъ вѣсомъ производить моментъ сгиба — M_1 надъ первымъ устоемъ C. Для выполненія этаго условія длина ея l' должна удовлетворять уравненію

$$\frac{w l'^2}{2} = -M_1 = \frac{2w + w'}{6} c^2$$

и слѣдовательно крайній предѣлъ ея длины выражается формулою

$$l' \geqq c \sqrt{\frac{2w + w'}{3w}} \quad \ldots\ldots\ldots (11.)$$

Въ тоже время точка E не должна заходить за дальнѣйшую отъ C точку перегиба пролета, когда онъ сильно нагружонъ т. е.

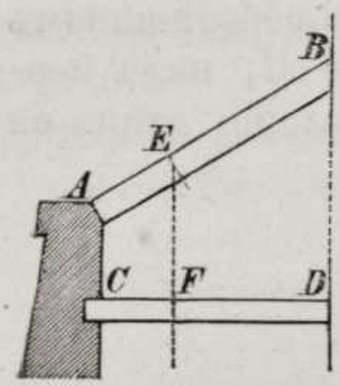
$$l' \leqq c \left\{1 + \sqrt{\frac{w + 2w'}{3(w+w')}}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (12.)$$

Для возможности удовлетворить этимъ условіямъ необходимо, чтобы выраженіе (12.) было болѣе выраженія (11.) Когда конецъ балки E неподдержанъ дѣйствіемъ подвижнаго груза, то онъ лежитъ на устоѣ F.

Во всѣхъ вычисленіяхъ этаго параграфа коефицентъ безопасности тотъ же для постояннаго, какъ и для подвижнаго груза. Если найдутъ нужнымъ сдѣлать коефиціентъ благонадежности для движущаюся груза вдвое болѣе коефицента постояннаго груза (какъ напримѣръ 6 и 3); тогда w и w' должно разсматривать какъ двѣ части безопасной нагрузки, каждое составляетъ треть соотвѣтственной части того груза, который при томъ же распредѣленіи могъ бы переломить балку; такъ что M_0 или $-M_1$ есть треть переламывающаго момента. При движеніи по мосту наибольшій движущійся грузъ долженъ быть вдвое меньшее соотвѣтственной времянной безопасной нагрузки или долженъ быть равенъ половинѣ w'.

179. Стропильная нога или наклонная балка. На чертежѣ 151, AB есть наклонный прямой брусъ, подвер-

женный дѣйствію грузовъ и опирающійся на устой въ точкѣ A. Поддерживающія усилія въ A и B можно найти какъ въ III случаѣ § 112.



Чер. 151.

Какъ грузъ, такъ и поддерживающія усилія надобно разложить на составляющія параллельныя и перпендикулярныя къ балкѣ или продольныя и поперечныя составляющія. Искаженіе бруса будетъ состоять изъ продольнаго сжатія, производимаго сжимающими силами и сгиба отъ дѣйствія поперечныхъ силъ.

Пусть напримѣръ грузъ распредѣленъ равномѣрно, и w величина его на горизонтальную единицу ширины пролета; l длина наклонной балки отъ A до B, i уголъ ея наклоненія къ горизонту и W полный грузъ, величина его на погонную горизонтальную единицу есть

$$w = \mathrm{W} : l \cos i \ldots\ldots (1.)$$

Поддерживающее усиліе въ B горизонтально, въ A оно наклонно подъ угломъ, котораго тангенсъ есть $2 \operatorname{tang} i$; а величины ихъ суть

$$\text{въ } B \ \mathrm{H} = \mathrm{W} : 2 \operatorname{tang} i, \quad \text{въ } A \ \sqrt{\mathrm{H}^2 + \mathrm{W}^2} \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Продольныя составляющія груза и поддерживающихъ усилій въ B и A суть

$$\left.\begin{aligned} -\mathrm{W} \sin i = -w l \cos i \sin i; \ \mathrm{H} \cos i = -\frac{\mathrm{W} \cos^2 i}{2 \sin i}; \\ \mathrm{H} \cos i + \mathrm{W} \sin i = \frac{\mathrm{W}}{2}\left(\frac{1}{\sin i} + \sin i\right) \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (3.)$$

отрицательные знаки первыхъ двухъ выраженій показываютъ, что силы дѣйствуютъ внизъ. Поперечныя составляющія груза и обоихъ поддерживающихъ усилій суть

$$-\mathrm{W} \cos i = -w l \cos^2 i; \frac{\mathrm{W}}{2} \cos i \ldots\ldots (4.)$$

Пусть A означаетъ площадь поперечнаго сѣченія балки въ точкѣ E, которой разстояніе отъ B есть x'; въ этой точкѣ существуетъ горизонтальный распоръ, котораго единичная

величина по раздѣленіи всей силы на площадь сѣченія выразится формулою

$$p' = \left(\frac{\mathrm{W}\cos^2 i}{2\sin i} + w x \cos i \sin i\right) : \mathrm{A} \ldots\ldots (5.)$$

Моментъ сгиба M въ томъ же поперечномъ сѣченіи такойже какъ и въ балкѣ длиною l и подверженной нагрузкѣ $w\cos^2 i$ на погонную единицу ея длины, и можетъ быть найденъ по формулѣ VI Случая § 161 или по способу, изложенному въ § 176, смотря потому будетъ ли балка поддержана въ точкахъ A и B или укрѣплена, т. е. неподвижно ли только положеніе концовъ балки или вмѣстѣ съ тѣмъ и ихъ направленіе.

Можно здѣсь замѣтить, что если бы существовала балка CD длиною $l\cos i$ (горизонтальное проложеніе балки l), нагруженная тѣмъ же равномѣрно разпредѣленнымъ грузомъ W, поддержанная или укрѣпленная также какъ и AB, то моментъ ея сгиба въ F, поперечномъ ея сѣченіи соотвѣтствующемъ E былъ бы тотъ же что и въ E.

Пусть I есть моментъ инерціи поперечнаго сѣченія E, а $m'h$ разстояніе отъ вогнутой поверхности балки до неутральной ея оси; то моментъ сгиба M увеличиваетъ распоръ балки съ этой стороны на количество, котораго величина есть

$$p'' = \frac{\mathrm{M}\, m'h}{\mathrm{I}} \ldots\ldots\ldots (6.)$$

такъ что наибольшая величина распора въ этомъ поперечномъ сѣченіи и условіе, что она не будетъ превосходить безопаснаго предѣла крѣпкости f' выражается слѣдующимъ образомъ

$$p' + p'' \leq f' \ldots\ldots\ldots (7.)$$

Въ большей части случаевъ брусъ укрѣпленъ въ A и B, наибольшій моментъ сгиба и наибольшій продольный распоръ бываетъ въ A. Когда возьмутъ моментъ сгиба по § 176 уравненію (8.), то наибольшая величина распора будетъ

$$p' + p'' = \frac{\mathrm{W}}{2\,\mathrm{A}}\left(\frac{1}{\sin i} + \sin i\right) + \frac{\mathrm{W}\, l\cos i}{12} \cdot \frac{m'h}{\mathrm{I}} \ldots (7\,\text{A.})$$

При проэктированіи наклонной балки, можно задать себѣ сначала ея высоту h, какъ это сдѣлано въ § 170; вы-

боръ формы поперечнаго сѣченія опредѣлитъ отношенія m' и $I : m'h^2 A$, но собственно I и A останутся неопредѣленными. Назовемъ послѣднее отношеніе буквою q; уравненію (7.) можетъ быть данъ видъ

$$p' + p'' = \frac{W}{A}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sin i} + \sin i\right) + \frac{l \cos i}{12\, q\, h}\right\} \ldots\ldots (7\text{ б.})$$

откуда выводится слѣдующая формула для опредѣленія поперечнаго сѣченія A

$$A = \frac{W}{f'}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sin i} + \sin i\right) + \frac{l \cos i}{12\, q\, h}\right\} \ldots\ldots\ldots (8.)$$

Численныя величины q отношенія $I : m'h^2 A$ или $n b h : A$ суть

I. Въ прямоугольникѣ . . . . . $\frac{1}{6}$

II. Въ элипсѣ и кругѣ . . . . . $\frac{1}{8}$

III. Въ поломъ четыреугольникѣ $A = bh - b'h'$ $\left\{\frac{1}{6}\left(1 - \frac{b'h'^3}{bh^3}\right) : \left(1 - \frac{b'h'}{bh}\right)\right.$

IV. Въ поломъ квадратѣ $A = h^2 - h'^2$ $\frac{1}{6}\left(1 + \frac{h'^2}{h^2}\right)$

V. Въ поломъ элипсѣ . . . . . $\frac{1}{8}\left(1 - \frac{b'h'^3}{bh^3}\right) : \left(1 - \frac{b'h'}{bh}\right)$

VI. Въ поломъ кругѣ . . . . . $\frac{1}{8}\left(1 + \frac{h'^2}{h^2}\right)$

VII. При тавровой формѣ: лежень A'_1 ребро A'_2. Приблизительное рѣшеніе подобно § 163 уравненія (2.) $\left\{\frac{A_2 (A_2 + 4 A_1)}{6 (A_2 + A_1)(A_2 + 2 A_1}\right.$

VIII. При двойной тавровой формѣ; лежни A_1 и A_3 ребро A_2; разрушеніе происходить раздробленіемъ A_1. Приблизительное рѣшеніе подобно § 163 уравненія (4.)

$$\frac{A_2 (A_2 + 4 A_1 + 4 A_3) + 12 A_1 A_3}{\cdot\, 6 (A_2 + 2 A_3)(A_1 + A_2 + A_3)}$$

XI. При двойной тавровой формѣ однообразной вверху и внизу или $A_1 = A_3$ $\left.\right\} \frac{1}{6}\left(1 + \frac{4\,A_1}{A_2 + 2\,A_1}\right)$

Если сравнить прогибъ наклонной балки AB съ горизонтальной балкой CD тойже горизонтальной длины и при одинакомъ грузѣ, то окажется на основаніи § 169, что если балки имѣютъ одинакія поперечныя сѣченія, то прогибы ихъ въ соотвѣственныхъ точкахъ будутъ пропорціональны кубамъ длины; а такъ какъ грузы, производящіе прогибъ, находятся въ обратномъ отношеніи длины, то прогибы пропорціональны квадратамъ длины или

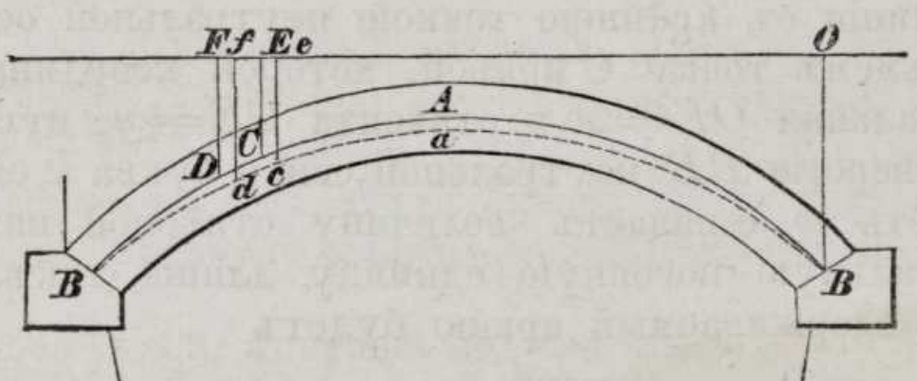
прогибъ A B : прогибъ C D : : 1 : $\cos^2 i$ . . . . . (9.)

А отвѣсныя составляющія прогибовъ находятся въ отношеніи длины балокъ

отвѣсный прогибъ A B : прогибъ C D : : 1 : $\cos i$. (10.)

Но если AB увеличено противъ CD по ширинѣ въ отношеніи 1 : $\cos i$, то отвѣсныя составляющія прогибовъ одинаковы.

180. Крѣпкость и жесткость арки при отвѣсной нагрузкѣ. Чертежъ 152 представляетъ арку или дуговое



Чер. 152.

ребро, опирающееся на два устоя и подверженное дѣйствію отвѣсной нагрузки. Линія $BACDB'$ проходитъ чрезъ центры тяжести поперечныхъ сѣченій арки; ее можно принять за *неутральную ось* арки: это линейная арка, или безконечно тонкое дуговое ребро, котораго условія равновѣсія тѣже, что и дѣйствительной арки. Условія эти изложены въ § 123, 124, 125, 128, 130, 131 и 132.

Когда отвѣсный грузъ лежитъ на аркѣ, то по условію равновѣсія неутральной оси каждая часть арки сжимается

въ направленіи параллельномъ касательной въ ближайшей точкѣ кривой, и еслибъ не обстоятельство, объ которомъ будетъ говорено сейчасъ, сжиманіе было бы однообразно по всему поперечному сѣченію арки, и неутральная ось была бы въ тоже время линіею сопротивленія.

Въ слѣдствіе сжиманія длина арки уменьшается и неутральная ось принимаетъ новую форму $BacdB'$, которой кривизна въ каждой точкѣ отличается отъ первоначальной кривизны; слѣдовательно даже при грузѣ разпредѣленномъ какъ въ уравновѣшенной линейной аркѣ, есть моментъ сгиба присоединяющійся къ прямому сжиманію. Если разпредѣленіе груза отличается отъ того, которое соотвѣтствуетъ неутральной оси, принимаемой за линейную арку, то дѣйствіе сгибающей силы измѣняется въ величинѣ и въ направленіи.

Во всякомъ случаѣ арка подвержена двойному дѣйствію: прямому сжиманію какъ линейкая арка и поперечному грузу какъ балка; и ея напряженіе и искаженіе суть составныя изъ напряженій и изкаженій зависящихъ отъ сжимающаго дѣйствія груза и отъ сгибающаго его дѣйствія.

Первая Задача. Общій случай. При рѣшеніи задачъ относящихся къ этому предмету, удобнѣе всего принимать за начало координатъ точку O находящуюся на одной отвѣсной линіи съ крайнею точкою неутральной оси B.

Возьмемъ точку C кривой, которой координаты суть: горизонтальная $OE = x$ и отвѣсная $CE = y$; пусть l означаетъ отверстіе BB' неутральной оси, а буква k ея подъемъ.

Пусть w означаетъ величину отвѣсной нагрузки на горизонтальную погонную единицу длины такъ, что весь грузъ поддерживаемый аркою будетъ

$$\int_0^l w\,dx$$

Грузъ $w\,dx$ на каждой частицѣ арки состоитъ изъ двухъ частей: $w_1\,dx$ производитъ только продольное сжиманіе и по законамъ равновѣсія линейной арки w_1 можетъ быть представлено въ видѣ

$$w_1 = \mathrm{H}\frac{d^2y}{dx_2}$$

гдѣ H есть неизвѣстный горизонтальный распоръ арки; другая часть этаго груза производитъ сгибъ и имѣетъ величину

$$(w - w_1)\,dx = \left(w - \mathrm{H}\frac{d^2y}{dx^2}\right)dx, \ldots (1.)$$

Вставивши сюда вмѣсто w и $\frac{d^2y}{dx^2}$ соотвѣтствующія имъ величины, продолжаютъ слѣдующимъ образомъ:

Отвѣсная составляющая двигающей силы въ каждой точкѣ напримѣръ C по § 160 есть

$$\mathrm{F} = \mathrm{F}_0 - \int_0^x w\,dx + \mathrm{H}\left(\frac{dy}{dx} - \frac{dy_0}{dx_0}\right) \ldots\ldots (2.)$$

F_0 есть неизвѣстная отвѣсная составляющей силы въ точкѣ B, а $\frac{dy_0}{dx_0}$ уклонъ неутральной оси въ этой точкѣ или tang i_0

Моментъ сгиба въ точкѣ C есть

$$\left.\begin{aligned}\mathrm{M} = \mathrm{M}_0 + \int_0^x \mathrm{F}\,dx = \mathrm{M}_0 + \mathrm{F}_0 x - \int_0^x\int_0^x w\,dx^2 - \\ \mathrm{H}\left(y_0 - y + x\frac{dy_0}{dx_0}\right)\end{aligned}\right\} \quad (3.)$$

M_0 есть неизвѣстный моментъ сгиба въ точкѣ B.

Измѣненіе кривизны производимое сгибомъ въ точкѣ C есть — M : EJ; знакъ отрицательный поставленъ для того, чтобы показать что кривизна внизъ считается положительною; измѣненіе уклона выражается такъ

$$i = \frac{dv}{dx} = i_0 - \int_0^x \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{EI}}\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}\,dx \ldots\ldots (4.)$$

i_0 есть неизвѣстный уклонъ въ точкѣ B.

Отвѣсный прогибъ или пониженіе въ точкѣ C есть

$$v = \int_0^x i\,dx \ldots\ldots\ldots (5.)$$

И такъ сгибающее дѣйствіе груза выражается четырьмя уравненіями (2, 3, 4, 5) содержащими четыре неизвѣстныхъ H, F_0, M_0, i_0.

Если въ этихъ уравненіяхъ положить $x = l$, то полу-

чатся величины соотвѣтствующія другому концу арки B_1; онѣ могутъ быть означены буквами F_1, M_1, i_1, v_1.

Пусть $DC = ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ означаетъ длину очень малой дуги неутральной оси. Длина этой дуги измѣняется не отъ сгибающаго дѣйствія груза, а отъ сжиманія, имъ производимаго, на количество dt въ слѣдующемъ отношеніи

$$\frac{dt}{ds} = -\frac{H}{EA}\frac{ds}{dx} \quad \ldots\ldots (6.)$$

Знакъ — показываетъ, что dt есть сжатіе; A есть площадь сѣченія арки въ точкѣ C.

Чтобы узнать соединенное дѣйствіе сжиманія и сгиба на неутральную ось можно поступить такъ: пусть u и v означаютъ горизонтальное и отвѣсное перемѣщенія одной изъ ея точекъ напримѣръ C; CD есть первоначальное, cd измѣненное грузомъ положеніе малой дуги неутральной оси

$OE = x$; $\quad OF = x + dx$;
$EC = y$; $\quad FD = y + dy$;
$CD = ds$;
$Oe = x + u$; $\quad Of = x + u + dx + du$;
$ec = y + v$; $\quad fd = y + v + dy + dv$;
$cd = ds + dt$.

Изъ уравненій

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$
$$(ds + dt)^2 = (dx + du)^2 + (dy + dv)^2$$

выводится

$$2\,ds\,dt + dt^2 = 2\,dx\,du + du^2 + 2\,dy\,dv + dv^2;$$

или отбрасывая величины dt^2, du^2 и dv^2 какъ очень малыя

$$ds\,dt = dx\,du + dy\,dv$$

оттуда горизонтальное перемѣщеніе точки D относительно C будетъ

$$du = \frac{ds}{dx}dt - \frac{dy}{dx}dv \quad \ldots\ldots\ldots (7.)$$

вмѣсто dt можно вставить его величину изъ уравненія (6.), а также вставить $1 + \frac{dy^2}{dx^2}$ вмѣсто $\frac{ds^2}{dx^2}$ и $i\,dx$ вмѣсто dv тогда

$$du = -\frac{H}{EA}\left\{1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right\}^{\frac{3}{2}} dx - i\frac{dy}{dx}\,dx \quad \ldots\ldots (7\text{ а.})$$

Если взять интегралъ этаго выраженія, то получится горизонтальное перемѣщеніе C относительно B

$$u = -\int_0^x \left\{ \frac{\mathrm{H}}{\mathrm{E\,A}} \left(1 + \frac{dy^2}{dx^2} \right)^{\frac{3}{2}} + i \frac{dy}{dx} \right\} dx \quad \ldots\ldots\ldots (8.)$$

Сюда входятъ тѣже четыре неопредѣленныя величины объ которыхъ говорено было прежде; если положить $x = l$ то получится измѣніе отверстія арки, которое можно означить u_1.

При совершенной неподвижности опорныхъ точекъ $u_1 = 0$, при подвижности ихъ u_1 можетъ быть опредѣлено опытомъ: и такъ первое уравненіе для узнанія неопредѣленныхъ величинъ есть

$$u_1 = 0 \quad \ldots\ldots\ldots (9.)$$

Второе условное уравненіе выражаетъ неподвижность точки B' въ отвѣсномъ направленіи

$$v_1 = 0 \quad \ldots\ldots\ldots (10.)$$

Если концы арки укрѣплены въ напрявленіи то $i_0 = 0$, а когда они не укрѣплены то $M_0 = 0$, такъ что во всякомъ случаѣ число неопредѣленныхъ величинъ приводится къ тремъ. По этому нужно еще одно условное уравненіе и это будетъ одно изъ двухъ слѣдующихъ:
при неподвижныхъ въ направленіи концахъ арки

$$i_1 = 0 \quad \ldots\ldots\ldots (11.)$$

при не укрѣпленномъ концѣ арки

$$M_1 = 0 \quad \ldots\ldots\ldots (11\,\text{а.})$$

Опредѣливши посредствомъ исключенія три неизвѣстныя величины, надобно ихъ вставить въ выраженія момента сгиба (3.) и прогиба (5), и тогда эти величины можно будетъ вычислять.

Если принимать распоръ положительнымъ, а натянутость отрицательною, то наибольшая величина напряженія въ какомъ нибудь данномъ поперечномъ сѣченіи вычисляется по формулѣ

$$p' = \frac{\mathrm{H}}{\mathrm{A}} \frac{ds}{dx} \pm \frac{\mathrm{M}\, m' h}{\mathrm{I}} \quad \ldots\ldots (12.)$$

второй членъ берется съ знакомъ положительнымъ или отрицательнымъ смотря потому, дѣйствуетъ ли моментъ M

въ сторону или отъ того ребра арки, котораго разстояніе до неутральной оси есть $m'h$.

По выраженію (12.) можно опредѣлить положеніе той точки, гдѣ напряженіе наибольшее при данномъ положеніи груза, то положеніе груза при которомъ напряженіе достигаетъ наибольшей величины, и наконецъ величину этаго наибольшаго напряженія.

Отвѣсное отклоненіе линіи сопротивленія отъ неутральной оси въ каждой точкѣ дается выраженіемъ

$$\mathrm{M}:\mathrm{H} \ldots\ldots\ldots (13.)$$

а перпендикулярное или нормальное отклоненіе отношеніемъ

$$\mathrm{M}:\mathrm{H}\frac{ds}{dx} \ldots\ldots (14.)$$

и отклоненія бываютъ въ ту сторону, въ которую дѣйствуетъ M.

Когда осадка или прогибъ найдены прямымъ наблюденіемъ, то для опредѣленія наибольшаго напряженія можно употребить формулу

$$p_1 = \frac{\mathrm{H}}{\mathrm{A}}\frac{ds}{dx} \pm 4\frac{\mathrm{E}\,m'hv}{n''l^2} \ldots\ldots\ldots (15.)$$

второй членъ сходенъ съ выраженіемъ (15.) § 169.

Это былъ общій способъ изслѣдованія, приложимый въ случаѣ отвѣсной нагрузки: вотъ нѣкоторые частные случаи, встрѣчающіеся на практикѣ.

Вторая Задача. Арка однообразной жесткости. Если высота поперечнаго сѣченія арки вездѣ одинакова, поперечное сѣченіе однообразно, а ширина въ каждой точкѣ пропорціональна секансу угла наклоненія дуги къ горизонту,

или $$\frac{ds}{dx} = \sqrt{1+\frac{dy^2}{dx^2}}$$

то, назвавши A' площадь поперечнаго сѣченія въ ключѣ, I' моментъ инерціи, будемъ имѣть для площади поперечнаго сѣченія A и момента инерціи I въ какой нибудь точкѣ слѣдующія выраженія

$$\mathrm{A} = \mathrm{A}_1\sqrt{1+\frac{dy^2}{dx^2}};\ \mathrm{I} = \mathrm{I}_1\sqrt{1+\frac{dy^2}{dx^2}} \ldots (16.)$$

Величина сжиманія въ каждой точкѣ арки одинакова, а осадка каждой точки одинакова съ прогибомъ прямой балки, которой поперечное сѣченіе тоже что арки въ ключѣ и которая подвержена дѣйствію такого же момента сгиба. — Алгебрически это выражается введеніемъ предшествующихъ выраженій въ уравненія (4, 6, 8, 12 и 15), которые принимаютъ такой видъ

$$i = \frac{dv}{dx} = i_0 - \frac{1}{E\,I_1}\int_0^x M\,dx \ldots\ldots (4\text{ A.})$$

$$\frac{dt}{ds} = -\frac{H}{E\,A_1} \ldots\ldots (6\text{ A.})$$

$$u = -\frac{H}{E\,A_1}\int_0^x \left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right) dx - \int_0^x i\frac{dy}{dx}\,dx \ldots (8\text{A.})$$

Въ этомъ случаѣ также точно какъ и во всѣхъ тѣхъ, гдѣ высота поперечнаго сѣченія постоянна, а фигура однообразна, моментъ инерціи удобно выражать посредствомъ площади и высоты поперечнаго сѣченія, какъ въ § 178, и коефиціента q, котораго численныя величины даны въ таблицѣ того же параграфа

$$I = q\,m'\,h^2\,A \ldots\ldots (17.)$$

потому что тогда EA_1 въ уравненіи (8 A.) становится общимъ множителемъ, при опредѣленіи сжатія отверстія

$$u_1 = \frac{1}{E\,A_1}\left\{-H\int_0^l \left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right) dx + \frac{1}{q\,m'\,h^2}\int_0^l \frac{dy}{dx}\right. \left.\int_0^x M\,dx^2\right\} \quad (18.)$$

а уравненіе (12.) для выраженія наибольшаго напряженія принимаетъ видъ

$$p_1 = \frac{1}{A}\left\{H \pm \frac{M}{q\,h}\right\} \ldots\ldots (12\text{ A.})$$

который даетъ возможность очень просто вычислить площадь поперечнаго сѣченія, котораго фигура и высота заданы первоначально.

Арки однообразной жесткости малоупотребительны на дѣлѣ, по относящія къ нимъ формулы могутъ быть съ

небольшою ошибкою прилагаемы къ плоскимъ дуговымъ аркамъ однообразнаго поперечнаго сѣченія.

Третья задача. Когда точка опоры подается пропорціонально горизонтальному распору. Пусть увеличеніе отверстія арки происходящее отъ распора выражается уравненіемъ

$$u_1 = a\,\mathrm{H} \ldots\ldots\ldots (9\,\text{A.})$$

тогда уравненіе (8.) принимаетъ видъ

$$\mathrm{H}\left\{a+\int_0^l \frac{\left(1+\frac{dy^2}{dx^2}\right)^{\frac{3}{2}}}{\mathrm{E\,A}}\,dx\right\}+\int_0^l i\,\frac{dy}{dx}\,dx=0 \ldots (8\,\text{C.})$$

а для арки одинакой жесткости

$$\mathrm{H}\left\{a+\frac{1}{\mathrm{E\,A_1}}\int_0^l\left(1+\frac{dy^2}{dx^2}\right)dx\right\}+\int_0^l i\frac{dy}{dx}\,dx=0 \ldots (8\,\text{D.})$$

Коефиціентъ a можетъ быть опредѣленъ опытами: одинъ изъ произведенныхъ въ послѣднее время показалъ, что каменный устой, имѣвшій въ основаніи 24 фута ширины и 11 футъ толщины подался на 0.27 дюйма при распорѣ въ 66458 пудовъ, дѣйствовавшемъ на высотѣ 25 футъ отъ основанія. По этому величина a есть

$$\frac{0\cdot 27}{66{,}458}=0{\cdot}000{,}004{,}063.$$

Для вывода общихъ законовъ, по которымъ подаются устои, нужны дальнѣйшіе опыты.

Четвертая задача. Параболическая арка, концы арки неподвижны въ направленіи, опоры неподвижны, грузъ подвижной.

Вотъ чаще всего бывающій на практикѣ случай: пусть неутральная ось BAB' есть парабола, а арка однообразной жесткости и одинакой толщины; пяты арки широкія, плоскія и плотно прилегающія къ своимъ постелямъ, такъ что ихъ направленіе можно считать неподвижнымъ, т. е.

$$i_1 = i_0 = 0 \ldots\ldots\ldots (19.)$$

Если начало координатъ взять въ уровнѣ высшей точки неутральной кривой, и назвать K подъемъ, то уравненіе ея будетъ

$$y=\frac{4k}{l^2}-\left(\frac{l}{2}-x\right)^2 \quad \ldots\ldots \text{(20.)}$$

Откуда

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dy}{dx}=-\frac{8k}{l^2}\left(\frac{l}{2}-x\right);\ \frac{dy_0}{dx_0}=-\frac{4k}{l};\ 1+\frac{dy^2}{dx^2}\\ &=1+\frac{64k^2}{l^4}\left(\frac{l}{2}-x\right)^2;\ \int_0^l\left(1+\frac{dy^2}{dx^2}\right)dx=l+\frac{16k^2}{3l};\\ &\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{8k}{l^2} \end{aligned}\right\} \text{(21.)}$$

Далѣе найдемъ

$$\int_0^l i\frac{dy}{dx}dx=\int_0^l\frac{dy}{dx}dv=-\int_0^l\frac{d^2y}{dx^2}v\,dx=-\frac{8k}{l^2}\int_0^l v\,dx \quad \text{(22.)}$$

потому что $v_0=v_1=0$.

Это выраженіе пропорціонально площади осадки $\int_0^l v\,dx$.

Пусть арка подвержена дѣйствію постоянной нагрузки w_0 на погонную единицу длины, и подвижному грузу w; подвижой этотъ грузъ помѣщается на части арки длиною rl и находящейся въ дальнемъ отъ начала концѣ арки; подлѣ же начала координатъ остается часть арки $l(1-r)$ свободною отъ подвижнаго груза.

Уравненія (2, 3, 4 и 5) обращаются въ слѣдующія, изъ которыхъ означенныя буквою (A) относятся къ ненагруженной, а (B) къ нагруженной части.

Сдвигающая сила

$$\left.\begin{aligned} &\text{(A.)}\quad F=F_0+\left(\frac{8kH}{l^2}-w_0\right)x;\\ &\text{(B.)}\quad F=F_0+\left(\frac{8kH}{l^2}-w_0\right)x-w\left\{x-(1-r)l\right\} \end{aligned}\right\} \text{(23.)}$$

Моментъ сгиба

$$\left.\begin{aligned} &\text{(A.)}\quad M=M_0+F_0x+\left(\frac{8kH}{l^2}-w_0\right)\frac{x^2}{2}\\ &\text{(B.)}\quad M=M_0+F_0x+\left(\frac{8kH}{l^2}-w_0\right)\frac{x^2}{2}=\\ &\qquad\frac{w\left\{x-(1-r)l\right\}^2}{2} \end{aligned}\right\} \text{(24.)}$$

Измѣненіе уклона

$$\left.\begin{aligned}(\text{A.})\quad i &= \frac{1}{q\,m'\,h^2\,\mathrm{E\,A_1}}\left\{-\mathrm{M_0}\,x-\mathrm{F_0}\,\frac{x^2}{2}-\left(\frac{8\,k\,\mathrm{H}}{l^2}-w_0\right)\frac{x^3}{6}\right\}\\(\text{B.})\quad i &= \frac{1}{q\,m'\,h^2\,\mathrm{E\,A_1}}\left\{-\mathrm{M_0}\,x-\mathrm{F_0}\,\frac{x^2}{2}-\left(\frac{8\,k\,\mathrm{H}}{l^2}-w_0\right)\frac{x^3}{6}\right\}\\&\qquad+\frac{w}{6}\left\{x-(1-r)\,l\right\}^3\end{aligned}\right\}\quad(25.)$$

Прогибъ

$$\left.\begin{aligned}(\text{A.})\quad v &= \frac{1}{q\,m'\,h^2\,\mathrm{E\,A_1}}\left\{-\mathrm{M_0}\,\frac{x^2}{2}-\mathrm{F_0}\,\frac{x^3}{3}-\left(\frac{8\,k\,\mathrm{H}}{l^2}-w_0\right)\frac{x^4}{24}\right\}\\(\text{B.})\quad v &= \frac{1}{q\,m'\,h^2\,\mathrm{E\,A_1}}\left\{-\mathrm{M_0}\,\frac{x^2}{2}-\mathrm{F_0}\,\frac{x^3}{3}-\left(\frac{8\,k\,\mathrm{H}}{l^2}-w_0\right)\frac{x^4}{24}\right\}\\&\qquad+\frac{w}{24}\left\{x-(1-r)\,l\right\}^4\end{aligned}\right\}\quad(26.)$$

Условныя уравненія суть

$$i_1=0,\ -\mathrm{M_0}-\mathrm{F_0}\,\frac{l}{2}-\left(\frac{8\,k\,\mathrm{H}}{l^2}-w_0\right)\frac{l^2}{6}+\frac{w\,r^3\,l^2}{6}=0\qquad(27.)$$

$$v_1=0,\ -\frac{\mathrm{M_0}}{2}-\mathrm{F_0}\,\frac{l}{6}-\left(\frac{8\,k\,\mathrm{H}}{l^2}-w_0\right)\frac{l^2}{24}+\frac{w\,r^4\,l^2}{24}=0\qquad(28.)$$

$$u_1=0,\ -\left(l+\frac{16\,k^2}{3\,l}\right)\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{E\,A_1}}+\frac{8\,k}{l^2}\int_0^l v\,dx=0.$$

или по умноженіи обѣихъ частей на $\frac{q\,m'\,h^2\,\mathrm{E\,A_1}}{8\,k\,l}$ имѣемъ

$$\left.\begin{aligned}&-\frac{\mathrm{M_0}}{6}-\frac{\mathrm{F_0}\,l}{24}+\frac{w_0\,l^2}{120}+\frac{w\,r^5\,l^2}{120}-\mathrm{H}\left\{\frac{k}{15}+\frac{q\,m'\,h^2}{8\,k}\right.\\&\qquad\left.\left(1+\frac{16\,k^2}{3\,l^2}\right)\right\}=0\end{aligned}\right\}\quad(29.)$$

Положивъ, что

$$\frac{45\,q\,m'\,h^2}{4\,k^2}\left(1+\frac{16\,k^2}{l}\right)=\mathrm{B}\ldots(30.)$$

посредствомъ изключенія получимъ горизонтальный распоръ и моменты сгиба въ ненагруженной и нагруженной части арки

$$\mathrm{H}=\frac{l^2}{8\,(1+\mathrm{B})\,k}\left\{w_0+w\,(10\,r^3-15\,r^4+6\,r^5)\right\}\ldots(31.)$$

$$-\mathrm{M}_0 = \frac{w_0 l^2}{12}\cdot\frac{\mathrm{B}}{1+\mathrm{B}} + \frac{w l^2}{12}\left\{4r^3 - 3r^4 - \frac{10r^3 - 15r^4 + 6r^5}{1+\mathrm{B}}\right\} \quad (32.)$$

$$-\mathrm{M}_1 = \frac{w_0 l^2}{12}\cdot\frac{\mathrm{B}}{1+\mathrm{B}} + \frac{w l^2}{12}\left\{6r^2 - 8r^3 - 3r^4 - \frac{10r^3 - 15r^4 + 6r^5}{1+\mathrm{B}}\right\} \quad (33.)$$

Наибольшее напряженіе имѣетъ мѣсто у нагруженной пяты арки: величина его для распора есть

$$p_1 = \frac{1}{\mathrm{A}_1}\left(\mathrm{H} + \frac{\mathrm{M}_1}{9h}\right) = \frac{l^2}{8\,\mathrm{A}_1}\left\{\frac{w_0}{1+\mathrm{B}}\left(\frac{1}{k} + \frac{2\,\mathrm{B}}{3qh}\right) + w\left(\frac{2}{3qh}\right.\right.$$
$$\left.\left.(6r^2 - 8r^3 + 3r^4) - \frac{10r^3 - 15r^4 + 6r^5}{1+\mathrm{B}}\left(\frac{2}{3qh} - \frac{1}{k}\right)\right)\right\} \quad (34)$$

а для натянутости, называя p'_1 величину напряженіе, и q' величину коефицента q

$$p'_1 = \frac{1}{\mathrm{A}_1}\left(\frac{\mathrm{M}_1}{q'h} - \mathrm{H}\right) = \frac{l^2}{8\,\mathrm{A}_1}\left\{\frac{w_0}{1+\mathrm{B}}\left(\frac{2\,\mathrm{B}}{3q'h} - \frac{1}{k}\right) + w\left(\frac{2}{3q'h}\right.\right.$$
$$\left.\left.(6r^2 - 8r^3 + 3r^4) - \frac{10r^3 - 15r^4 + 6r^5}{1+\mathrm{B}}\left(\frac{2}{3qh} + \frac{1}{k}\right)\right)\right\} \quad (35.)$$

Пусть r' означаетъ ту величину r, при которой распоръ достигаетъ наибольшей величины, и r'_1 при которой натянутость, если она есть, имѣетъ тоже наибольшую величину, тогда

$$r_1 = \frac{2}{5}\,\frac{1+\mathrm{B}}{1 - \frac{3qh}{2k}};\quad r'_1 = \frac{2}{5}\,\frac{1+\mathrm{B}}{1 + \frac{3q'h}{2k}} \ldots\ldots (36.)$$

а самыя величины напряженій суть

$$\text{распоръ } p_1 = \frac{l^2}{8\,\mathrm{A}_1}\left\{\frac{w_0}{8+\mathrm{B}}\left(\frac{2\,\mathrm{B}}{3qh} + \frac{1}{k}\right) + \frac{2w}{3qh}\right.$$
$$\left.\left(2r_1^2 - 2r_1^3 + \frac{3}{5}r_4^1\right)\right\} \ldots\ldots (37.)$$

натянутость $$p'_1 = \frac{l^2}{8\,A_1}\left\{\frac{w_0}{1+B}\left(\frac{2\,B}{3\,q'\,h}-\frac{1}{k}\right)+\frac{2\,w}{3\,q'\,h}\left(2\,r'^2_1-2\,r'^3_1+\frac{3}{5}\,r'^4_1\right)\right\} \quad (38.)$$

Уравненіе (37) служитъ для опредѣленія площади поперечнаго сѣченія арки когда назначены высота и форма поперечнаго сѣченія; когда уравненіе (38) даетъ отрицательный выводъ то во всей аркѣ нѣтъ натянутости.

Отвѣсная составляющая сдвигающей силы въ ненагруженной части есть

$$F_0 = \frac{l}{2}\left\{\frac{w_0\,B}{1+B}+w\left(2\,r^3-r^4-\frac{10\,r^3-15\,r^4+6\,r^5}{1+B}\right)\right\} \quad (39.)$$

вставивши это и соотвѣтственныя величены — M_0 и H въ уравненіе (26) можно опредѣлить осадку въ каждой точкѣ.

Когда количества $q\,h:k$ и B очень малыя дроби, какъ это обыкновенно бываетъ; тогда слѣдующія выраженія почти вѣрны

$$r_1 = r'_1 = \frac{2}{5} \ldots\ldots (36\,\text{а.})$$

$$p_1 = \frac{l^2}{8\,A_1}\left\{w_0\left(\frac{2\,B}{3\,q\,h}+\frac{1}{k}\right)+0{,}138\,\frac{w}{q\,h}\right) \ldots (37\,\text{а.})$$

$$p'_1 = \frac{l^2}{8\,A_1}\left\{w_0\left(\frac{2\,B}{3\,q'\,h}-\frac{1}{k}\right)+0{,}138\,\frac{w}{q'\,h}\right\} \ldots\ldots (38\,\text{а.})$$

Когда напротивъ того отношеніе $(1+B):\left(1-\frac{3\,q\,h}{2\,k}\right)$ равно или болѣе 5:2, напряженіе имѣетъ наибольшую величину, при аркѣ нагруженой по всей длинѣ; а когда $(1+B):\left(1+\frac{3\,q'\,h}{2\,k}\right)$ равно или болѣе 5:2 то наибольшая величина натянутости бываетъ при нагруженіи всей арки, т. е. тогда $r_1 = r'_1 = 1$; и тогда имѣемъ уравненія

$$H = \frac{l^2\,(w_0+w)}{8\,(1+B)\,k} \ldots\ldots (31\,\text{в.})$$

$$-M_0 = -M_1 = \frac{l^2\,(w_0+w)\,B}{12\,(1+B)} \ldots (33\,\text{в.})$$

$$p_1 = \frac{l^2}{8\,A_1}\left\{\frac{w_0}{1+B}\left(\frac{2\,B}{3\,q\,h}+\frac{1}{k}\right)+0{\cdot}192\,\frac{w}{q\,h}\right\}\ldots\ (37\text{ в.})$$

$$p'_1 = \frac{l^2}{8\,A_1}\left\{\frac{w_0}{1+B}\left(\frac{2\,B}{3\,q'\,h}-\frac{2}{k}\right)+0{\cdot}192\,\frac{w}{q'\,h}\right\}\ldots\ldots\ (38\text{ в.})$$

Дѣйствіе вспомогательнаго горизонтальнаго ребра будетъ разсмотрѣно послѣ.

Пятая задача. Когда опоры уступаютъ распору, и отверстіе увеличивается на количество $u_1 = a\,H$; тогда нужно во всѣхъ формулахъ предъидущей задачи сдѣлать

$$B = \frac{45\,q\,m'\,h^2}{4\,k^2}\left(1+\frac{16\,k^2}{3\,l^2}+\frac{a\,E\,A_1}{l}\right)\ldots\ldots\ (40.)$$

Шестая задача. Параболическая арка одинакой жесткости съ поддержанными но не укрѣпленными концами. — Формулы четвертой задачи приложимы здѣсь съ тою только разницею, что M_0 и M_1 равны нулю, i_0 есть величина неопредѣленная: въ этомъ случаѣ получаются слѣдующіе выводы, въ которыхъ поставленныя въ скобкахъ [ ] величины относятся къ нагруженной части.

$$F = F_0 + \left(\frac{8\,k\,H}{l^2}-w_0\right)x - \left[w\left\{x-(1-r)\,l\right\}\right]\ldots\ldots\ (41.)$$

$$M = F_0\,x + \left(\frac{8\,k\,H}{l^2}-w_0\right)\frac{x^2}{2} - \left[\frac{w}{2}\left\{x-(1-r)\,l\right\}^2\right]\ldots\ (42.)$$

$$i = i_0 - \frac{1}{q\,m'\,h^2\,E\,A_1}\left\{F_0\,\frac{x^2}{2}+\left(\frac{8\,k\,H}{l^2}-w_0\right)\frac{x^3}{6} - \left[\frac{w}{6}\left\{x-(1-r)\,l\right\}^3\right]\right\}\quad (43.)$$

$$v = i_0\,x - \frac{1}{q\,m'\,h^2\,E\,A_1}\left\{F_0\,\frac{x^3}{6}+\left(\frac{8\,k\,H}{l^2}-w_0\right)\frac{x^4}{24} - \left[\frac{w}{24}\left\{x-(1-r)\,l\right\}^4\right]\right\}\quad (44.)$$

а если $u_1 = a\,H$ означаетъ измѣненіе отверстія, какъ въ пятой задачѣ, то

$$0 = -\left(1+\frac{16\,k^2}{3\,l^2}+\frac{a\,E\,A_1}{l}\right)\frac{l\,H}{E\,A_1}+\frac{8\,k}{l^2}\int_0^l v\,dx\ldots\ (45.)$$

а по умноженіи на $q\,m'\,h^2\,\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1 : 8\,k$ и послѣ соотвѣтственныхъ подстановокъ получится

$$\left.\begin{aligned} 0 = &\frac{q\,m'\,h^2\,\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1\,i_0}{2} - \frac{\mathrm{F}_0\,l^2}{24} + \frac{w_0\,l^3}{120} + \frac{w\,r^5\,l^3}{120} - \mathrm{H}\,l \\ &\left\{\frac{k}{15} + \frac{q\,m'\,h^2}{8\,k}\left(1 + \frac{16\,k^2}{3\,l^2} + a\,\frac{\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1}{l}\right)\right\} \end{aligned}\right\} \quad (46.)$$

другія два условныя уравненія суть

$$\left.\begin{aligned} 0 = \frac{q\,m'\,h^2\,\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1\,v_1}{l} = &q\,m'\,h^2\,\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1\,i_0 - \frac{\mathrm{F}_0\,l^2}{6} + \frac{w_0\,l^3}{24} \\ &+ \frac{w\,r^4\,l^3}{24} - \frac{\mathrm{H}\,l\,k}{3} \end{aligned}\right\} \quad (47.)$$

$$0 = \frac{\mathrm{M}_1}{l} = \mathrm{F}_0 - \frac{w_0\,l}{2} - \frac{w\,r^2\,l}{2} + \frac{4\,k\,\mathrm{H}}{l} \quad \ldots . \quad (48.)$$

Изключеніемъ i_0 и раздѣленіемъ на l^2 уравненія (46 и 47) дадутъ

$$\left.\begin{aligned} 0 = &-\frac{\mathrm{F}_0}{12} + \frac{w_0\,l}{40} + \frac{w\,l}{120}\,(5\,r^4 - 2\,r^5) - \frac{\mathrm{H}\,k}{l} \\ &\left\{\frac{1}{5} - \frac{q\,m'\,h^2}{4\,k^2}\left(1 + \frac{16\,k^2}{3\,l^2} + \frac{a\,\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1}{l}\right)\right\} \end{aligned}\right\} \quad (49.)$$

а изключая F_0 между этимъ уравненіемъ и (48) имѣемъ

$$\left.\begin{aligned} 0 = &-\frac{w_0\,l}{5} - \frac{w\,l}{10}\,(5\,r^2 - 5\,r^4 + 2\,r^5) + \frac{\mathrm{H}\,k}{l} \\ &\left\{\frac{8}{5} + \frac{3\,q\,m'\,h^2}{k^2}\left(1 + \frac{16\,k^2}{3\,l^2} + \frac{a\,\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1}{l}\right)\right\} \end{aligned}\right\} \quad (50.)$$

Если положить, что

$$\frac{15\,q\,m'\,h^2}{8\,k^2}\left(1 + \frac{16\,k^2}{3\,l^2} + \frac{a\,\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1}{l}\right) = \mathrm{C} \ldots (51.)$$

то для горизонтальнаго распора и другихъ постоянныхъ имѣемъ

$$\mathrm{H} = \frac{l^2}{8\,k\,(1+\mathrm{C})}\left\{w_0 + \frac{w}{2}\left(5\,r^2 - 5\,r^4 + 2\,r^5\right)\right\} \ldots . (52.)$$

$$F_0 = \frac{l}{2}\left\{\frac{w_0 C}{1+C} + w\left(r^2 - \frac{5r^2 - 5r^4 + 2r^5}{2(1+C)}\right)\right\} \ldots . (53.)$$

$$i_0 = \frac{l^3}{24 q m' h^2 E A_1}\left\{\frac{w_0 C}{1+C} + w\left(2r^2 - r^4 - \frac{5r^2 - 5r^4 + 2r^5}{2(1+C)}\right)\right\} \quad (54.)$$

Сдвигающая сила у нагруженной пяты арки есть, съ противнымъ знакомъ

$$P = -F_1 = -F_0 + w_0 l + w r l - \frac{8kH}{l} = \frac{w_0 l}{2} + \frac{wl}{2}$$
$$(2r - r^2) - \frac{4kH}{l} = \frac{l}{2}\left\{\frac{w_0 C}{1+C} + w\left(2r - r^2 - \frac{5r^2 - 5r^4 + 2r^5}{2(1+C)}\right)\right\} \quad (55.)$$

Для избѣжанія отрицательнаго знака это будетъ означаться P.

Наибольшій моментъ сгиба бываетъ въ точкѣ арки которой горизонтальное разстояніе отъ пяты арки есть

$$l - x = \frac{P}{w_0 + w - \frac{8kH}{l^2}} \ldots . (56.)$$

а величина наибольшаго момента сгиба есть

$$M' = \frac{P(l-x)}{2} = \frac{P^2}{2\left(w_0 + w - \frac{8kH}{l^2}\right)} \ldots (57.)$$

это даетъ для наибольшаго напряженія распоръ

$$p_1 = \frac{1}{A_1}\left(\frac{M'}{q h} + H\right) \ldots . (58.)$$

Чтобы найти какая часть арки должна быть нагружена для того, чтобы напряженіе достигло наибольшей величины, надобно рѣшить уравненіе

$$\frac{dp_1}{dr} = 0 \ldots . (59.)$$

Уравненіе это есть четырнадцатой стенени, одинъ изъ корней его $r = 1$ соотвѣтствуетъ наименьшей величинѣ

p_1; по раздѣленіи уравненія на $1-r$, получится новое, тринадцатой степени, которое все таки слишкомъ сложно для практическаго употребленія.

Но посредствомъ рѣшенія уравненія по приближенію, можно вывесть что когда половина арки нагружена, то напряженіе получаетъ наибольшую величину, то есть когда

$$r = \frac{1}{2} \ldots\ldots\ldots (60.)$$

Вставивши эту величину r въ предъидущія выраженія, получимъ

$$\mathrm{H} = \frac{l^2}{8k(1+\mathrm{C})}\left(w_0 + \frac{w}{2}\right) \ldots\ldots (52\,\text{A.})$$

$$\mathrm{F}_0 = \frac{l}{2}\left(w_0 + \frac{w}{2}\right)\frac{\mathrm{C}}{1+\mathrm{C}} \ldots\ldots (53\,\text{A.})$$

$$i_0 = \frac{l^3}{24\,q\,m'h^2\,\mathrm{E}\,\mathrm{A}_1}\left\{\left(w^0 + \frac{w}{2}\right)\frac{\mathrm{C}}{1+\mathrm{C}} - \frac{w}{16}\right\} \ldots\ldots\ldots (54\,\text{A.})$$

$$\mathrm{P} = \frac{l}{2}\left\{\left(w_0 + \frac{w}{2}\right)\frac{\mathrm{C}}{1+\mathrm{C}} + \frac{w}{4}\right\} \ldots\ldots (55\,\text{A.})$$

$$l - x = \frac{l}{4}\,\frac{w + 4\left(w_0 + \frac{w}{2}\right)\frac{\mathrm{C}}{1+\mathrm{C}}}{w + 2\left(w_0 + \frac{w}{2}\right)\frac{\mathrm{C}}{1+\mathrm{C}}} \ldots (56\,\text{A.})$$

$$\mathrm{M}' = \frac{\mathrm{P}(l-x)}{2} = \frac{l^2}{64}\,\frac{\left\{w + 4\left(w_0 + \frac{w}{2}\right)\frac{\mathrm{C}}{1+\mathrm{C}}\right\}^2}{w + 2\left(w_0 + \frac{w}{2}\right)\frac{\mathrm{C}}{1+\mathrm{C}}} \ldots\ldots (57\,\text{A.})$$

Для того чтобы пояснить это численнымъ примѣромъ, возьмемъ

$$k = \frac{1}{8}\,l;\; h = \frac{1}{5}\,k = \frac{1}{40}\,l;\; m' = \frac{1}{2};$$

$$q = \frac{1}{3}\ (\text{т. е. форма I.})$$

$a = 0$ или пяты неподвижны.

Тогда

$$\mathrm{C} = \frac{1}{80} \times \frac{13}{11} = 0{\cdot}013$$

Положимъ также что подвижной грузъ на единицу длины равенъ постоянному, или $w_0 = w$

$$H = 1{\cdot}48\, l\, w$$

$$P = 0{\cdot}13\, l\, w$$

$$l - x = 0{\cdot}26\, l$$

$$M' = 0{\cdot}0169\, l^2\, w$$

менѣе нежели моментъ сриба соотвѣтствующій грузу w по всей арки въ отношеніи $0{\cdot}135 : 1$.

$$p = \frac{1}{A_1}\left(\frac{M'}{q\,h} + H\right) = \frac{l w}{A_1}(2{\cdot}03 + 1{\cdot}48) = 3{\cdot}51\,\frac{l w}{A_1}$$

Седьмая задача. Найти наибольшую осадку арки, наибольшая величина v соотвѣтствуетъ $i = 0$. Изъ уравненій (25 и 26) пятой задачи и (43, 34) шестой задачи окажется что наибольшая осадка всегда бываетъ по срединѣ арки и тогда, когда она вся нагружена, то есть когда

$$r = 1,\ x = \frac{l}{2}.$$

Тогда въ аркѣ одинакой жесткости, неподвижной въ направленіи у пятъ, имѣемъ

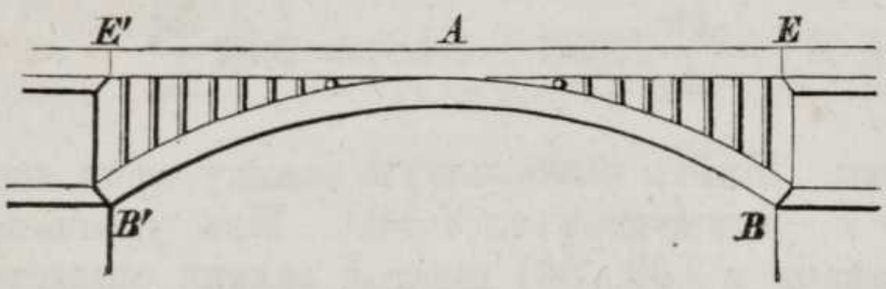
$$\left.\begin{aligned} H &= \frac{l^2\,(w + w_0)}{8\,k\,(1 + B)};\ F_0 = \frac{l\,(w + w_0)\,B}{2\,(1 + B)} \\ -M_0 &= -M_1 = \frac{l^2\,(w + w_0)\,B}{12\,(1 + B)} \\ v &= \frac{l^4\,(w + w_0)\,B}{384\,q\,m'\,h^2\,E\,A_1\,(1 + B)} \end{aligned}\right\} \quad (61.)$$

а въ аркѣ одинакой жесткости, не укрѣпленной въ направленіи у пятъ, имѣемъ

$$\left.\begin{aligned} H &= \frac{l^2\,(w + w_0)}{8\,k\,(1 + C)};\ F_0 = \frac{l\,(w + w_0)\,C}{2\,(1 + C)} \\ i_0 &= \frac{l^3\,(w + w_0)\,C}{24\,q\,m'\,h^2\,E\,A_1\,(1 + C)} \\ v &= \frac{5\,l^4\,(w + w_0)\,C}{384\,q\,m'\,h^2\,E\,A_1\,(1 + C)} \end{aligned}\right\} \quad (62.)$$

При сравненіе этихъ формулъ съ уравненіями (12) § 169, которыя даютъ прогибъ балки, надобно помнить что полный грузъ здѣсь равенъ $l(w+w_0)$, что $l^3:384$ равно $c^3:48$ и что $q\,m'\,h^2\,\mathrm{A}=\mathrm{I}$; слѣдовательно осадка арки при равномѣрно разпредѣленомъ грузѣ менѣе нежели прогибъ прямой балки при томъ же отверстіи и одинакомъ моментѣ поперечнаго сѣченія и томъ же грузѣ въ отношеніи B къ $1+\mathrm{B}$ при неподвижныхъ пятахъ и въ отношеніи C къ $1+\mathrm{C}$ при поддержанныхъ только пятахъ.

Восьмая задача. Арка одинакой жесткости постоянная въ направленіи у пятъ, и связанная въ ключѣ съ горизонтальной балкой. На чертежѣ 153 BB' есть арка, EAE' горизонтальная балка. Въ наддужныхъ частяхъ арки находятся отвѣсныя стойки, которыя передаютъ дугѣ грузъ, лежащій на балкѣ, и связываютъ ихъ такъ что прогибъ балки и осадка дуги въ соотвѣтственныхъ точкахъ одинаковые.



Чер. 153.

Вліяніе этихъ стоекъ принимается въ расчетъ тѣмъ что въ моментъ инерціи поперечнаго сѣченія, въ формулахъ четвертой задачи т. е.

$$\mathrm{I}_1 = q\,m'\,h^2\,\mathrm{A}_1$$

вводится также моментъ инерціи балки, но площадь поперечнаго сѣнніе A_1 принадлежитъ только дугѣ.

Положимъ, что дуга съ балкой такъ связана въ ключѣ A, что горизонтальное ихъ перемѣщеніе u одно и тоже; и пусть горизонтальная балка упирается концами E и E' въ устои или другія части верхняго строенія такъ, что сопротивляется распору. При этомъ условіи горизонтальный распоръ въ обѣихъ половинахъ арки AB и AB' можетъ быть не одинаковъ; когда одна половина напримѣръ AB' сильнѣе нагружена, нежели другая, тогда распоръ въ ней больше, и этой разности распоровъ сопротивляется часть балки AE менѣе нагруженной половины.

Нѣтъ никакой надобности представлять здѣсь полное излѣдованіе этаго случая, достаточно указать на результатъ этаго ислѣдованія: при тѣхъ размѣрахъ и тѣхъ обстоятель-

ствахъ, которые встрѣчаются на дѣлѣ, вліяніе сопротивленія балки горизонтальному распору состоитъ въ томъ, что наибольшее напряженіе въ дугѣ при всякомъ частномъ грузѣ бываетъ меньше или очень не многимъ больше наибольшаго напряженія при полной нагрузкѣ, которое поэтому становится наибольшимъ абсолютнымъ и опредѣляется уравненіемъ (37 *B*) въ случаѣ распора и уравненіемъ (38 *B*) для натянутости.

Наибольшая величина напряженія въ балкѣ можетъ быть приблизительно найдена слѣдующимъ образомъ когда поперечное сѣченіе почти одинаково вверху и внизу: пусть h' ея высота, A' площадь поперечнаго сѣченія, M_1 наибольшій моментъ сгиба, вычисленный по уравненію (33 *B*), H горизонтальный распоръ данный уравненіемъ (31 *B*)

Тогда для распора $$p''_1 = \frac{M_1 h'}{2EI} + \frac{H}{A_1 + A'} \quad \ldots\ldots\ldots (63.)$$

а для натянутости $$p'''_1 = \frac{M_1 h'}{2EI} \quad \ldots\ldots\ldots (64.)$$

Относительный вѣсъ и вѣскость разныхъ веществъ.

НАЗВАНІЯ ВЕЩЕСТВЪ.	ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВѢСЪ ВОДА = 1.	ВѢСЪ КУБИЧ. ФУТА ВЪ ПУДАХЪ.
Газы при 0° Р и давленіи одной атмосферы.		
Азотъ	—	0·00217639
Водородъ	—	0·00015485
Воздухъ атмосферный	—	0·00223542
Газъ свѣтильный	—	0·00220142
Кислородъ	—	0·00247158
Пары водяные	—	0·00139064
„ эфира	—	0 00579569
Углекислота	—	0.00341815
Углеродъ двусѣрнистый	—	0·00591752
Жидкости при 0° Р.		
Алкоголь	0·791	1·3673
Вода перегнанная при 3°. 2 Р	1·000	1·7286
„ морская	1·026	1·7735
Жиръ китовый	0·923	1·5955
Масло льняное	0·940	1·6250
„ оливковое	0·915	1·5817

НАЗВАНІЯ ВЕЩЕСТВЪ.	ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВѢСЪ ВОДА = 1.	ВѢСЪ КУБИЧ. ФУТА ВЪ ПУДАХЪ.
Масло терпентинное	0·870	1·5039
Нефть	0·848	1·4658
Ртуть	13·596	23·5018
Спиртъ	0·916	1·5834
Эфиръ	0·716	1·2377
Минеральныя вещества, кромѣ металовъ.		
Антрацитъ	1·602	2·769
Базальтъ	3	5·186
Глина обыкновенная	1·92	3·319
„ сланцеватая	2·6	4·494
Гранитъ	2·63—2·76	4·547—4·771
Гипсъ	2·3	3·976
Доломитъ	2·86	4·944
Известняки и мраморы	2·7—2·8	4·667—4·840
Илъ	1·63	2·818
Кварцъ	2·65	4·893
Кирпичъ	2—2·167	3·457—3·746
Кладка каменная	1·85—2·3	3·198—3·976
„ кирпичная	1·8	3·111
Коксъ	1—1·66	1·729—2·870
Кремень	2·63	4·546
Кроунгласъ	2·5	4·321
Мергель	1·6—1·9	2·767—3·284
Мѣлъ	1·87—2·78	3·232- 5·406
Песокъ сухой	1·42	2·455
„ сырой	1·9	3·284
Песчаникъ	2·08—2·52	3·595—4·356
Растворъ известковый	1·75	3·026
Сланецъ глинистый	2·8—2·9	4·840—5·013
Стекло	2·7	4·667
Траппъ	2·72	4·702
Уголь каменный	1·24—1·44	2·143—2·489
Флинтгласъ	3	5·186
Шпатъ полевой	2·6	4·494
Металы въ твердомъ состояніи.		
Бронза	8·4	14·521
Желѣзо	7·6—7·8	13·137—13·483
Золото	19 - 19·6	32·843—33·880
Мѣдь желтая литая	7·8—8·4	13·483—14·521
„ „ въ проволокѣ	8·54	14·762
„ красная литая	8·6	14·866
„ „ листовая	8·8	15·212
„ „ кованая	8·9	15·384
Олово	7·3—7·5	12·619—12·964

НАЗВАНІЯ ВЕЩЕСТВЪ.	ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВѢСЪ ВОДА = 1.	ВѢСЪ КУБИЧ. ФУТА ВЪ ПУДАХЪ.
Платина	21—22	36·300—38·028
Свинецъ	11·4	19·706
Серебро	10·5	18·150
Сталь	7·8—7·9	13·483—13·656
Цинкъ	6·8—7·2	11·754—12·446
Чугунъ	6·95—7·3	12·014—12·619
Дерево въ сухомъ состояніи.		
Акація бѣлая (Robinia pseudoacacia)	0·710	1·2273
Ахрасъ (Achras sidaroxylon)	1·046	1·8081
Бакаутъ (Guaiacum officinale)	0·650—1·33	1·1233—2·2989
Бамбукъ (Bambusa arundinacea)	0·400	0·6914
Береза (Betula alba)	0·711	1·2290
Боярышникъ (Crataegus oxyacantha)	0·91	1·5730
Букъ (Fagus sylvatica)	0·69	1·1927
Грабъ (Carpinus betulus)	0·76	1·3137
Гуатерія (Guatteria virginata)	0·675—1·01	1·1668—1·7459
Даммара (Dammara australis)	0·579	1·0084
Дерево красное гундурасское (Swietenia mahagoni)	0·560	0·9680
„ „ испанское „ „	0·850	1·4693
Дерево черное (Brya ebenus)	1·193	2·0622
Диптериксъ (Dipterix odorata)	0·99—1·06	1·7113—1·8323
Дубъ европейскій (Quercus sessiliflora, quercus pedunculata)	0·69—0·99	1·1927—1·7113
„ американскій (Quercus rubra)	0·87	1·5039
Евкалиптъ (Eucalyptus globulus)	0·843	1·4572
Ель (Abies excelsa)	0·48—0·7	0·8297—1·2100
Ива (Salix)	0·4	0·6914
Илимъ (Ulmus campestris)	0·544	0·9403
Каштанъ (Castanea vesca)	0·535	0·9248
Кедръ ливанскій (Cedrus libani)	0·486	0·8401
Кленъ бѣлый (Acer pseudoplatanus)	0·59	1·0198
„ полевой (Acer campestris)	0·79	1·3656
Лиственница (Larix europoea)	0·5—0·56	0·8643—0·9680
Мора (Mora excelsa)	0·92	1·5903
Нектандръ (Nectandra rodioei)	1·001	1·7303
Орѣшникъ (Corylus avellana)	0·86	1·4866
Падубъ (Ilex aquifolium)	0·76	1·3137
Ракитникъ (Cytisus laburnum)	0·92	1·5903
Самшитъ (Buxus semprivirens)	0·96	1·6594
Сосна желтая (Pinus variabilis)	0·46	0·7952
„ красная (Pinus sylvestris)	0·48—0·7	0·8297—1·2100
Тисъ (Taxus baccata)	0·8	1·3829
Тикъ индейскій (Tectona grandis)	0·66	1·1409
„ африканскій „ „	0·98	1·6940
Тополь серебристый (Populus alba)	0·51	0·8816
Тристанія (Tristania nerifolia)	1·001	1·7303
Ясень (Fraxinus excelsior)	0·753	1·3016

Таблицы крѣпкости матеріаловъ.

I. Сопротивленіе вытягиванію въ пудахъ на квадр. дюймъ.

МАТЕРІАЛЫ.	Вязкость или сопротивленіе разрыву.	Коефиціентъ прямой упругости или сопротивленіе вытягиванію.
Камни.		
Кирпичь	7.75—8.3	—
Растворъ известковый	1.38	—
Сланецъ глинистый	266—354	359982—443054
Стекло	260	221527
Цементъ	7·75—8·3	—
Металы.		
Бронза (мѣди 8, олова 1)	997	274139
Желѣзо листовое	1412	—
„ въ стыкахъ при заклепкахъ въ два ряда	989	—
„ въ стыкахъ при заклепкахъ въ одинъ рядъ	792	—
„ въ брускахъ и болтахъ	1661—1938	803030
„ полосовое лучшее	1772	—
„ проволока	1938—2769	700580
„ проволочные канаты	2492	415360
Мѣдь желтая литая	498	253930
„ „ въ проволокѣ	1357	394040
„ красная литая	526	—
„ „ листовая	831	—
„ „ въ болтахъ	997	—
„ „ въ проволокѣ	1661	470746
Олово литое	127	—
Свинецъ въ листахъ	91	19937
Сталь въ брускахъ	2769—3600	803030—1163012
„ въ листахъ	2215	—
Цинкъ	194—222	—
Чугунъ разныхъ сортовъ	371—803	387673—634124
„ среднимъ числомъ	457	407746
Дерево и органическія волокнистыя вещества.		
Акація бѣлая	443	—
Бакаутъ	327	—
Бамбукъ	174	—
Береза	415	45551
Боярышникъ	291	—
Букъ	318	37382
Грабъ	554	—
Гуатерія	648	—

МАТЕРІАЛЫ.	Вязкость или сопротивленіе разрыву.	Коефицентъ прямой упругости или сопротивленіе вытягиванію.
Дерево красное	222—604	34752
Дубъ европейскій	277—548	33229—48459
„ американскій	284	59535
Ель	343	38767—49843
Илимъ	388	19384—37105
Канатъ пеньковый	155	—
Каштанъ	277—360	31568
Кедръ ливанскій	316	13457
Кленъ бѣлый	360	28799
„ полевой	294	—
Лиственица	249—277	24922—37660
Орѣшникъ	498	—
Падубъ	443	—
Ракитникъ	291	—
Самшитъ	554	—
Сосна красная	332—388	40428—52613
Тисъ	222	—
Тикъ индейскій	415	66458
„ африканскій	582	63689
Тополь	199	31291
Усъ китовый	213	—
Ясень	471	44306

II. Сопротивленіе скалыванію въ пудахъ на квадр. дюймъ.

МАТЕРІАЛЫ.	Сопротивленіе скалыванію.	Коефиц. поперечный упругости или сопротивленіе скашиванію.
Металы.		
Желѣзо	1384	235373—263063
Мѣдь желтая въ проволокѣ	—	147592
„ красная	—	171688
Чугунъ	767	78920
Дерево.		
Дубъ европейскій	64	—
Ель	17	—
Лиственица	27—47	—
Сосна красная	14—22	—
Тополь	50	—

III. Сопротивленіе раздавливанію въ пудахъ на квадр. дюймъ.

МАТЕРІАЛЫ.	Сопротивленіе раздавливанію.	МАТЕРІАЛЫ.	Сопротивленіе раздавливанію.
Камни.		**Дерево.**	
Гранитъ	152—305	Ахрасъ	388
Известнякъ зернистый	111—125	Бакаутъ	274
Кирпичь красный слабый	15—22	Береза	177
„ „ крѣпкій	30	Букъ	259
„ огнеупорный.	47	Грабъ	202
Мраморъ	152	Дерево красное . . .	227
Мѣлъ	9	„ черное . . .	526
Песчаникъ крѣпкій . .	152	Дубъ британскій . .	277
„ обыкновенный	91—122	„ данцигскій . .	213
„ слабый . .	61	„ американскій .	166
Кладка бутовая около четырехъ десятыхъ тесовой		Евкалиптъ	244
		Илимъ	285
		Кедръ Ливанскій . .	162
		Лиственица	157
		Мора	274
Металы.		Самшитъ	286
		Сосна желтая . . .	150
Желѣзо	997—1108	„ красная . . .	149—172
Мѣдь желтая литая .	285	Тикъ индейскій . .	332
Чугунъ разныхъ сортовъ	2271-4015	Тристанія	305
„ среднимъ числомъ	3101	Ясень	249

IV. Сопротивленіе поперечному перелому въ пудахъ на квадр. дюймъ.

МАТЕРІАЛЫ.	Сопротивленіе перелому.	МАТЕРІАЛЫ.	Сопротивленіе перелому.
Камни.		Бакаутъ	332
Песчаникъ	30—65	Береза	324
Сланецъ глинистый .	138	Букъ	249—332
		Гуатерія	460
Металы.		Даммара	305
Желѣзо котельное . .	1163	Дерево красное гундурасское	318
Чугунъ въ балкахъ . .	471	Дерево красное испанское	210
„ въ брускахъ .	914—1205	Дерево черное . . .	748
„ среднимъ числомъ . . .	1108	Диптериксъ	609
Дерево.		Дубъ британскій и русскій	277—377
Акація	310	Дубъ данцигскій . .	241
Ахрасъ	443—609		

МАТЕРІАЛЫ.	Сопротивленіе перелому.	МАТЕРІАЛЫ.	Сопротивленіе перелому.
Дубъ американскій . .	294	Лиственица	138—277
Евкалиптъ	443—554	Мора	609
Ель	274—341	Нектандръ	457—762
Ива	183	Сосна красная . . .	197—264
Илимъ	166—269	Тикъ индейскій . .	409
Каштанъ	295	„ африканскій . .	415
Кедръ ливанскій . .	205	Тополь	284
Кленъ бѣлый	266	Ясень	332—388

Примѣчаніе 1. Въ таблицахъ этихъ показана крѣпкость сухаго дерева; крѣпкость свѣжаго дерева меньше; при раздавливаніи она бываетъ иногда вдвое меньше.

Примѣчаніе 2. Коефицентъ перелома въ восемнадцать разъ болѣе того груза, который нуженъ для того чтобы переломить брусокъ въ одинъ квадратный дюймъ поперечнаго сѣченія и въ одинъ футъ длины, поддержанный у обоихъ концовъ и нагруженный по срединѣ.

ГЛАВА II.

ЗЕМЛЯНЫЯ РАБОТЫ.

Отдѣлъ I. Крѣпкость и устойчивость земляныхъ работъ.

181. Общія начала. Липкость. Треніе. Естественный откосъ. Вѣскость. Земляныя работы бываютъ двухъ родовъ: выемка и насыпь; въ обширномъ смыслѣ слово земляная работа обнимаетъ выемку какъ въ скалистомъ, такъ и въ обыкновенномъ грунтѣ.

Земляная работа разрушается тѣмъ, что одна ея часть скользитъ или *ползетъ* по другой и устойчивостъ ея состоитъ въ сопротивленіи этому сползанію. Въ сплошной скалѣ такому движенію сопротивляется напряженіе самаго вещества, проявляющееся тогда, когда оно подвергается сдвигающему усилію; въ обыкновенной землѣ сопротивленіе сползанію представляетъ частью треніе частицъ земли, частью же ихъ сцѣпленіе или *липкость* (adhesion); послѣдняя въ нѣкоторыхъ родахъ земель, какъ напримѣръ въ глинѣ, бываетъ очень велика. Липкость эта отъ дѣйствія воздуха постепенно уменьшается, особенно при перемѣнной температурѣ, когда земля то замерзаетъ, то оттаиваетъ; такъ что при опредѣленіи устойчивости земляной работы, надобно расчитывать на одно только треніе, не полагаясь на липкость. Но при производствѣ земляныхъ работъ можно пользоваться липкостью земли и дивать выемкамъ отвѣсныя грани, которыя, могутъ быть тѣмъ выше, чѣмъ земля липче по сравненію съ ея вѣскостью; небольшая сырость увели-

чиваетъ липкость земли, но присутствіе излишней воды уменьшаетъ ее.

Земли могутъ держаться отвѣсно при откосахъ слѣдующей высоты: чистый сухой песокъ и хрящъ при O; мокрый песокъ, сырая обыкновенная земля отъ 3 до 6 футъ; обыкновенная глина отъ 10 до 16 футъ.

Дѣйствіе временной устойчивости, производимой липкостью, можно замѣтить по наблюденіямъ надъ фигурою землянаго откоса послѣ того, какъ часть его сползла: откосъ не принимаетъ равномѣрнаго уклона, а имѣетъ вогнутую форму, въ верхней части онъ отвѣсенъ и становится отложе по мѣрѣ пониженія, но такая форма не можетъ долго держаться, верхняя отвѣсная часть обрушается, отъ уменьшенія липкости земли, и весь откосъ со временемъ принимаетъ однообразный уклонъ.

Собственной устойчивости земли, происходящей отъ однаго только тренія, достаточно для поддержанія откоса насыпи или выемки подъ однообразнымъ уклономъ, когда уголъ этаго откоса съ горизонтальнаго плоскостью равенъ *углу покоя* или когда его тангенсъ равенъ *коэфициенту тренія:* такой откосъ называется *естественнымъ*. Обыкновенно крутость откоса выражается числомъ высотъ заключающіеся въ его основаніи, это есть обратная величина тангенса угла наклоненія къ горизонту.

Величины угловъ покоя (φ), коэфиціентовъ тренія (f) и обратныхъ ихъ величинъ ($1:f$) даны были въ § 110; здѣсь приведены тѣ изъ нихъ, которые относятся къ землямъ съ нѣкоторыми дополненіями.

ЗЕМЛИ.		УГОЛЪ ПОКОЯ φ^0	КОЭФИЦ. ТРЕНІЯ f	ОБРАТНАЯ ВЕЛИЧ. $1 \div f$
Сухая земля, глина, смѣшанная земля	отъ	37	0·75	1·33
	до	21	0·38	2·63
Мокрая глина		45	1·00	1·
Сырая глина	отъ	17	0·31	3·23
	до	14	0·25	4·
Хрящъ и гравій	отъ	48	1·11	0·9
	до	35	0·70	1·43
Торфъ	отъ	45	1·00	1·
	до	14	0·25	4·

Земляным работамъ обыкновенно даются откосы, называемые полуторными и двойными; они соотвѣтствуютъ коэфиціентамъ тренія 0·67 и 0·5 и угламъ покоя въ $33\frac{1}{2}^0$ и $26\frac{1}{2}^0$.

Присутствіе въ землѣ сырости на столько, чтобы удалить воздухъ изъ промежутковъ между ея частицами, увеличиваетъ нѣсколько треніе; но всякій избытокъ сырости дѣйствуетъ какъ смазка, уменьшаетъ треніе, и приводитъ землю въ состояніе полужидкости или *грязи*. Въ этомъ состояніи хотя земля имѣетъ нѣкоторую липкость или тягучесть, которая даетъ сопротивленіе внезапной перемѣнѣ формы, но устойчивости тренія она не имѣетъ; коэфицентъ тренія ея и уголъ покоя равны нулю.

Изъ этаго видно, что устойчивость тренія въ землѣ зависитъ въ значительной степени отъ легкости съ которой вода, случайно въ нее попавшая, можетъ быть изъ нее удалена. Самые благонадежные для земляныхъ работъ матеріалы суть обломки скалъ, хрящъ, гравій, чура и чистый песокъ, какъ состоящій изъ однихъ кристаловъ, такъ и смѣшанный съ раковинами: потому что вода проходитъ сквозь нихъ свободно, оставляя на кускахъ только полезную степень влажности. Но чистѣйшій песокъ можетъ быть совершенно не устойчивъ и въ состояніи пловучаго песку (quicksand), если заключается въ пространствѣ между воду содержащими матеріалами, такъ что вода изъ него не можетъ удаляться.

Способность удерживать воду и составлять съ него тѣсто принадлежитъ глинѣ, и тѣмъ землямъ, въ составъ которыхъ входитъ глина: такія земли, какъ бы тверды и жестки онѣ нибыли при вынутіи изъ грунта, со временемъ становятся мягче, ихъ треніе и липкость уменьшаются отъ вліянія атмосфернаго воздуха. Въ этомъ отношеніи самая худшая есть смѣсь глины съ пескомъ, потому что песокъ пропускаетъ воду, а глина ее удерживаетъ.

Липкость и треніе земель такъ различны, что Инженеръ никогда не долженъ при составленіи проэкта земляной работы полагаться на таблицы или свѣдѣнія почерпнутыя изъ книгъ, когда онъ имѣетъ возможность сдѣлать наблюденіе надъ земляными работами, произведенными изъ того же рода земли, изъ котораго онъ намѣренъ строить или когда можетъ самъ сдѣлать опытъ.

Вотъ вѣскость нѣкоторыхъ родовъ земель т. е. вѣсъ кубической сажени и кубическаго фута въ пудахъ.

ЗЕМЛИ.	КУБИЧЕСКАЯ САЖЕНЬ.	КУБИЧЕСКІЙ ФУТЪ.
Мѣлъ	1111·32—1652·92	3·24—4·82
Глина	1139·75—1282·24	3·32—3·74
Хрящъ и гравій	854·81—1044·78	2·49—3·05
Мергель	949·80—1130·25	2·77—3·30
Грязь	968·80	2·82
Песокъ сухой	845·29	2·46
„ сырой	1120·75	3·27
Глинистый слонецъ	1538·84	4·49

182. Откосы выемокъ въ скалахъ. Когда камень такъ твердъ, что можно положиться на сцѣпленіе его частицъ, то бока выемки могутъ быть совершенно или почти отвѣсными. Въ какой степени можно положиться на сцѣпленіе частицъ камня должно быть опредѣляемо непосредственнымъ наблюденіемъ надъ нимъ, никакого заключенія нельзя сдѣлать ни по геологическому положенію, ни по минералогическимъ признакамъ, ни по химическому составу породы: потому что геологическое положеніе опредѣляется остатками органическихъ веществъ въ скалѣ, которыя не имѣютъ никакого отношенія къ механическимъ свойствамъ грунта; камни имѣющіе одинакое минералогическое строеніе и одинакой химическій составъ бываютъ весьма различной крѣпкости и прочности.

Впрочемъ должно замѣтить, что сцѣпленіе частицъ очень сильно въ породахъ огненныхъ и метаморфическихъ каковы гранитъ, сіенитъ, трапъ, гнейсъ, слюдяной сланецъ, мраморъ, кварцъ и т. п., такъ что на нихъ можно положиться, если только пластъ не имѣетъ большаго числа трещинъ и если онъ не содержитъ полеваго шпата; въ этихъ случаяхъ надобно откосу выемки дать нѣкоторый уклонъ, для того чтобы падающіе въ нее куски не могли причинить вреда. Изъ осадочныхъ породъ съ тѣми, которыя содержать много глины, какъ напримѣръ сланцы, надобно обходиться осторожно, какъ бы тверды онѣ ни были при вынутіи изъ грунта; потому что на воздухѣ онѣ очень размягчаются. Песчаники и извѣстняки, какъ сплошные такъ и зернистые, если годны для построекъ, могутъ держаться отвѣсно или съ малымъ уклономъ, но эти породы бываютъ весьма раз-

личной твердости отъ рыхлой земли до крѣпкаго камня. Встрѣчаются песчаники, которые разсыпаются въ рукахъ, такіе требуютъ откосовъ отъ 1 до $1^1/_2$ основанія на 1 высоты; мѣловыя толщи смотря по твердости могутъ держатся при откосахъ отъ $^1/_2$ до $1^1/_2$ основанія на 1 высоты.

Устойчивость осадочной породы въ откосѣ выемки бываетъ болѣе, когда пластъ лежитъ горизонтально или когда наклонъ пласта идетъ отъ выемки, и менѣе когда пластъ наклоненъ въ сторону выемки.

183. Теорія устойчивости и давленія рыхлой земли. Напряженія въ частицахъ земли, проявляющіяся по разнымъ направленіямъ, подчиняются общимъ законамъ, которымъ слѣдуютъ сложныя напряженія въ твердыхъ тѣлахъ и которые изложены въ § 108. Такъ какъ треніе есть единственная причина устойчивости земли, то напряженія эти подчинены сверхъ того ограниченіямъ, которыя выражаются слѣдующими началами.

I. *Общій законъ устойчивости рыхлой земли.* Для устойчивости массы сыпучаго вещества необходимо, чтобы направленіе давленія между частями, на которыя она дѣлится какою нибудь плоскостью, составляло во всякой точкѣ съ нормальною къ плоскости дѣленія уголъ меньшій угла покоя.

Во всякой массѣ плоскость, на которой отклоненіе давленія отъ нормальной есть наибольшее, перпендикулярна къ плоскости, содержащей оси наибольшаго и наименьшаго напряженій.

По чертежу 86 видно, что выше изложенный законъ, приводится къ тому, что уголъ NOR долженъ имѣть наибольшею величиною φ, уголъ покоя разсматриваемаго вещества.

Уголъ этотъ NOR или $\overset{\wedge}{nr}$ достигаетъ наибольшей величины когда OR перпендикулярна ко PQ и величина его опредѣляется уравненіемъ

$$\max \overset{\wedge}{nr} = \operatorname{arc}\sin\frac{\mathrm{MR}}{\mathrm{OM}} = \operatorname{arc}\sin\frac{p_x - p_y}{p_x + p_y}$$

онъ не долженъ превосходить угла покоя; по этому устойчивость земли выражается неравенствомъ

$$\frac{\mathrm{MR}}{\mathrm{OM}} = \frac{p_x - p_y}{p_x + p_y} \leq \sin\varphi \quad \ldots\ldots (1.)$$

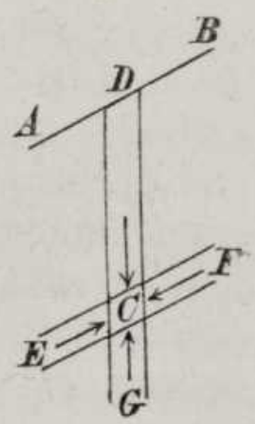
или иначе

$$\frac{p_x}{p_y} \leq \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} \quad \ldots\ldots (1\mathrm{A}.)$$

Этимъ неравенствомъ дается наименьшая единичная величина p_x давленія по данному направленію совмѣстная съ покоемъ земля, въ которой давленіе p_y дѣйствуетъ подъ прямымъ угломъ къ первому давленію; оно служитъ также для опредѣленія наименьшей величины горизонтальнаго давленія, которое нужно для поддержанія земляной массы, подверженной дѣйствію отвѣснаго давленія данной величины.

II. *Сопряженныя давленія въ землѣ.* Но иногда нужно бываетъ опредѣлить предѣлы-отношенія единичныхъ величинъ двухъ сопряженныхъ давленій въ земляной массѣ, когда они могутъ быть подъ прямымъ или тупымъ угломъ одно къ другому; и эта задача рѣшается слѣдующимъ геометрическимъ построеніемъ, основаннымъ на ст. V. § 108.

На (чер. 154) C есть сѣченіе призматической частицы земли, сдѣланное плоскостью наибольшаго и наименьшаго давленія: пусть эта частица будетъ ромбоическая призма, и давленія на ея грани пусть будутъ сопряженныя, это значитъ что давленіе на грани, параллельныя DG, параллельно EF, и обратно давленія, параллельныя DG, дѣйствуютъ на грани, параллельныя EF.



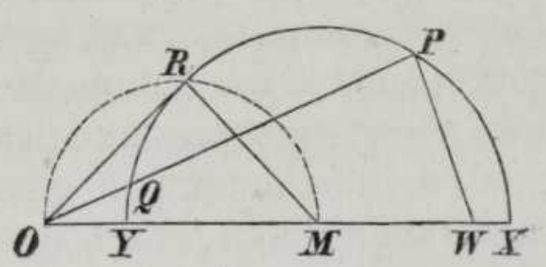
Чер. 154.

Пусть p единичная величина давленія параллельнаго DG, p' единичная величина меньшаго давленія, параллельнаго EF; каждая изъ этихъ величинъ отнесена къ единицѣ площади сопряженной поверхности. Назовемъ θ уголъ скошенія призмы C, т. е. разность между ея углами и прямыми углами: уголъ этотъ не долженъ превосходить угла покоя φ.

Единичныя величины давленій на единицы перпендикулярныхъ къ нимъ площадей суть

$$\frac{p}{\cos\theta} \text{ и } \frac{p'}{\cos\theta}$$

Изъ какой нибудь точки O (чер. 155) проведите двѣ прямыя линіи OMX и OR составляющія между собою уголъ покоя φ. Изъ нѣкоторой точки M на одной изъ этихъ линій опишите полукругъ YRX, касающійся



Чер. 155.

другой линіи въ точкѣ R (для этаго можно провести прежде кругъ, показанный точками).

Черезъ точку O проведите прямую OQP, составляющую съ OX уголъ $POM = \theta$, уголъ сопряженныхъ давленій, и пересѣкающую кругъ YRX въ точкахъ P и Q. Тогда предѣлы отношенія сопряженныхъ давленій будутъ

$$\frac{OQ}{OP} \text{ и } \frac{OP}{OQ}$$

Это есть рѣшеніе вопроса.

$$\frac{p'}{p} < \frac{OP}{OQ} = \frac{\cos\theta + \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}}{\cos\theta - \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}} \quad \ldots (2.)$$

$$\frac{p'}{p} > \frac{OQ}{OP} = \frac{\cos\theta - \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}}{\cos\theta + \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}} \quad \ldots (2\text{A.})$$

Вотъ крайніе случаи задачи.

Когда призма C прямоугольна, и сопряженныя давленія взаимно перпендикулярны, то $\theta = 0$, OPQ совпадаетъ съ OYX, и слѣдовательно

$$\frac{p'}{p} < \frac{OX}{OY} = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} \quad \ldots\ldots\ldots (3.)$$

$$\frac{p'}{p} > \frac{OY}{OX} = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \quad \ldots\ldots\ldots (3\text{A.})$$

Когда призма C имѣетъ наибольшій скосъ, $\theta = \varphi$, точки P и Q сливаются съ R, и вмѣсто двухъ получается одно уравненіе

$$p' = p \quad \ldots\ldots\ldots (4.)$$

III. *Давленія въ массѣ земли съ неограниченною верхнею плоскостью.* На чертежѣ 154, AB представляетъ часть не опредѣленно простирающейся поверхности земли, горизонтальной или наклоненной къ горизонту подъ угломъ θ, не превосходящимъ угла покоя φ. Представьте себѣ что вся масса земли раздѣлена на слои EF паралельно AB: условія, въ которыхъ находятся частицы C, составляющія этотъ слой и ограниченныя отвѣсными плоскостями, должны быть одинаковы; изъ этаго слѣдуетъ, что давленіе, производимое на всякую отвѣсную плоскость, должно быть параллельно AB, а давленіе на всякую поверхность, параллельную AB,

должно быть отвѣсно. Частица C образующаяся пересѣченіемъ отвѣснаго столба DG со слоемъ EF, ограничена сопряженными плоскостями; и дѣйствующія въ ней сопряженныя давленія параллельны поверхности слоя и отвѣсны.

Отвѣсное давленіе p происходитъ отъ вѣса столба земли, лежащаго на частицѣ; пусть $X = DC$ есть его высота, а w вѣсъ единицы объема; тогда

$$p = w x \cos \theta \ldots\ldots\ldots (5.)$$

Давленіе вдолъ самаго крутаго откоса слоя EF, производимое на отвѣсныя грани призмы C будетъ, если земля лежитъ слоями, имѣть наименьшую единичную величину, достаточную для удержанія земли въ покоѣ; данную соединеніемъ уравненій (2 A и 5) или

$$p' = w x \cos \theta \frac{\cos \theta - \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \varphi}}{\cos \theta + \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \varphi}} \ldots\ldots (6.)$$

Чтобы выразить графически этотъ результатъ, надобно провесть, какъ въ чертежѣ 155, OMX горизонтально, OR подъ естественнымъ уклономъ, OQP подъ дѣйствительнымъ уклономъ откоса, т. е. параллельно линіи наибольшаго уклона плоскости AB. Чрезъ P провести PW перпендикулярно къ OP. Тогда

$$\mathrm{OW} : \mathrm{OP} : \mathrm{OQ} = wx : p : p' \ldots\ldots\ldots (7.)$$

Вотъ крайніе случаи.

Когда верхняя плоскость горизонтальна, W и P совпадаютъ съ X, и Q съ Y; такъ что

$$\mathrm{OX} : \mathrm{OY} = wx : p' \text{ и } p' = wx \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \ldots\ldots (8.)$$

Когда верхняя плоскость имѣетъ естественный уклонъ, то P и Q совпадаютъ съ R, а W съ M; такъ что

$$\mathrm{OM} : \mathrm{OR} : wx : p' \text{ и } p' = p = wx \cos \varphi \ldots\ldots\ldots (9.)$$

Есть еще третье сопряженное давленіе, дѣйствующее горизонтально на частицу C перпендикулярно къ плоскости самой крутой ея грани. Единичныя ея величина представляется на чертежѣ 155 линіею OY, и дана слѣдующимъ уравненіемъ

$$p'' = \frac{wx \cos \theta (1 - \sin \varphi)}{\cos \theta + \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \varphi}} \ldots\ldots\ldots (10.)$$

въ двухъ крайнихъ случаяхъ она принимаетъ величины: при $\theta = 0$,

$$p'' = p' = w\,x\,\frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \quad \ldots\ldots\ldots (11.)$$

при $\theta = \varphi$

$$p'' = w\,x\,(1 - \sin\varphi) \quad \ldots\ldots (12.)$$

Единичная величина наибольшаго давленія производимаго на частицу земли представляется линіею OX и дана уравненіемъ.

$$p_1 = \frac{w\,x\cos\theta\,(1 + \sin\varphi)}{\cos\theta + \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}} \quad \ldots\ldots\ldots (13.)$$

Направленіе оси наибольшаго давленія перпендикулярно и сопряженно съ плоскостью, которая дѣлитъ пополамъ уголъ, составляемый радіусомъ OQ съ горизонтомъ; или наклоненіе оси къ горизонту дается формулою

$$\psi = \left(\theta + 180^9 - \text{arc}\cdot\sin\frac{\sin\theta}{\sin\varphi}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (14.)$$

Въ крайнихъ случаяхъ.

При горизонтальной верхней плоскости $\theta = 0$

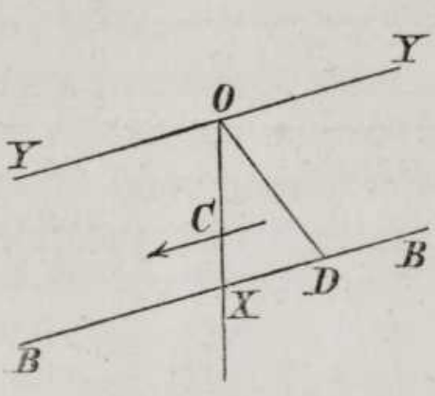
$$p_0 = w\,x,\ \psi = 90_0 \quad \ldots\ldots\ldots (15.)$$

При естественномъ уклонѣ $\theta = \varphi$

$$p_1 = w\,x\,(1 + \sin\varphi);\ \psi = \frac{\theta + 90^0}{2} \quad \ldots\ldots (16.)$$

въ первомъ случаѣ ось наибольшаго напряженіе отвѣсна, во второй она дѣлитъ пополамъ уголъ между отвѣсною линіею и откосомъ.

Ось наименьшаго давленія въ плоскости наибольшаго уклона перпендикулярна къ оси наибольшаго давленія, а единичная величина наименьшаго давленія выражается длиною линіи OY и уравненіемъ (10.)



Чер. 156.

IV. *Давленіе земли на отвѣсную плоскость.* Пусть OX (чер. 156) представляетъ отвѣсную плоскость въ землѣ или въ прикосновеніи съ землею, которая ограничивается плоскостью YY, наклоненною къ гори-

зонту подъ уголомъ θ; плоскость OX пересѣкаетъ откосъ YY по направленію перпендикулярному по линіи наибольшаго уклона. Требуется найти давленіе производимое землею на отвѣсную плоскость отъ O до X при ширинѣ равной единицѣ, а также найти направленіе и положеніе равнодѣйствующей этого давленія.

Вопервыхъ извѣстно, что направленіе равнодѣйствующей параллельно наклоненію YY. На линіи BB, проходящей чрезъ точку X параллельно YY, возмемъ точку D въ такомъ разстояніи отъ X, чтобы вѣсъ призмы земли, которой длина XD а наклонное основаніе площадью равное единицѣ въ плоскости OX, представлялъ величину сопряженнаго давленія на единицу отвѣсной площади при глубинѣ точки X, т. е. надобно произвести построеніе показанное на чертежѣ 155 и сдѣлать.

$$\mathrm{OP} : \mathrm{OQ} :: \mathrm{OX} : \mathrm{XD}$$

первое отношеніе принадлежитъ 155, а второе 156му чертежу.

Проведемъ прямую OD; тогда каждая прямая между OX и OD, проведенная параллельно YY, будетъ представлять длину призмы, которой вѣсъ, при наклонномъ основаніи площадью въ единицу, будетъ равенъ сопряженному давленію на той же глубинѣ. Пусть ODX есть треугольная призма, высотою равная единицѣ ширины; вѣсъ этой призмы будетъ величина всего искомаго давленія, а линія, проходящая чрезъ центръ ея тяжести, параллельно YY, пересѣкаетъ OX въ центрѣ давленія C. Глубина OC этаго центра давленія подъ поверхностью равна двумъ третямъ всей глубины OX.

Чтобы выразить это алгебрически, надобно сдѣлать

$$\mathrm{XD} = x\frac{p'}{p} = x\frac{\cos\theta - \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}}{\cos\theta + \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}} \quad \ldots\ldots (17.)$$

Тогда величина сопряженнаго давленія или вѣсъ призмы OXD будетъ

$$\mathrm{P}' = \frac{wx^2}{2}\cos\theta\,\frac{p'}{p} = \frac{wx^2}{2}\cos\theta.\frac{\cos\theta - \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}}{\cos\theta + \sqrt{\cos^2\theta - \cos^2\varphi}} \quad \ldots (18.)$$

Въ крайнихъ случаяхъ уравненія (17 и 18) принимаютъ видъ

$$\text{при } \theta = 0;\ XD = x\,\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi};\ P' = \frac{w x^2}{2}\cdot\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} \quad \ldots\ (19.)$$

$$\text{при } \theta = \varphi;\ XD = x;\ P^1 = \frac{w x^2}{2}\cos\varphi \quad \ldots\ (20.)$$

Въ дѣйствительности не существуетъ массъ земли съ неограниченными верхними плоскостями; но выведенныя формулы прилагаются съ достаточною для практическаго употребленія точностью къ массамъ земли имѣющимъ ограниченную верхнюю плоскость

ПРИМѢРЫ.

φ	0^0	15^0	30^0	45^0	60^0
$(90^0-\varphi):2$	45^0	$37^0\frac{1}{2}$	30^0	$22^0\frac{1}{2}$	15^0
$f = \text{tang}\,\varphi$	0	0·268	0·577	1·000	1·732
$1:f = \text{cotang}\,\varphi$	∞	3·732	1·732	1·000	0·577
$\sin\varphi$	0	0·259	0·500	0·707	0·866
$\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$	1	0·588	0·333	0·172	0·072
$\cos\varphi$	1	0·966	0·866	0·707	0·500

Есть математическая теорія соединеннаго дѣйствія тренія и липкости земли; но за недостаткомъ вѣрныхъ данныхъ польза приложенія ея къ дѣлу сомнительна.

ОТДѢЛЪ II. ИЗЧИСЛЕНІЕ ЗЕМЛЯНЫХЪ РАБОТЪ.

184. Изчисленіе полуширины и площади земель. Всякая земляная работа ограничивается слѣдующими поверхностями.

I. *Основаніемъ* или *полотномъ*, которое бываетъ совершенно или почти горизонтально: оно составляетъ дно выемки или вершину насыпи.

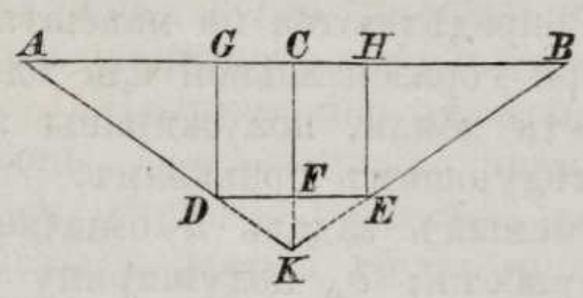
II. Естественная *поверхность земли*, составляющая верхъ выемки или низъ насыпи.

III. Бока или *откосы*, между поверхностью земли и основаніемъ; наклоненіе ихъ къ горизонту бываетъ наибольшее, совмѣстное съ устойчивостью матеріала.

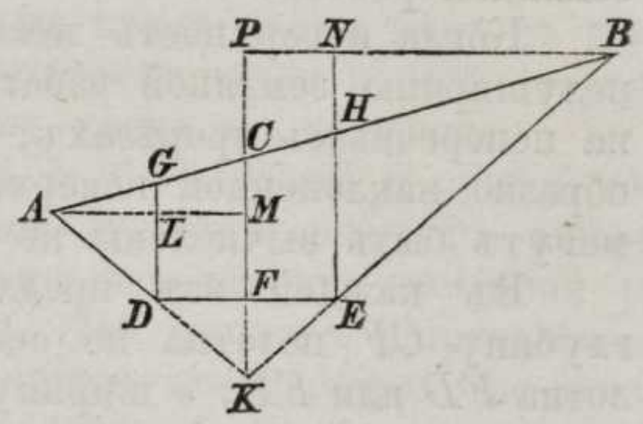
Чертежи 157, 158, 159 представляютъ примѣры поперечныхъ *профилей* земляныхъ работъ; въ каждомъ изъ нихъ DE есть основаніе, AB есть поверхность земли, DA и BE откосы. Въ чертежѣ 157, поверхность земли гори-

зонтальна, въ другихъ она наклонна и можетъ быть названа косогоромъ.

На чертежахъ 157 и 158 представлены выемки; что-



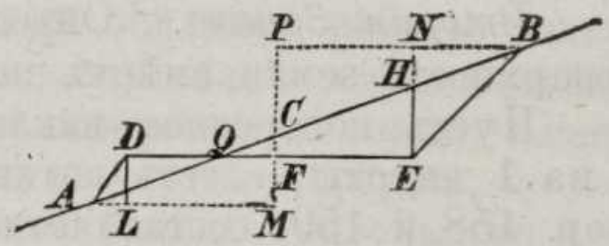
Чер. 157.



Чер. 158.

бы изобразить насыпи надобно оборотить чертежи низомъ кверху.

Въ чертежѣ 159 представлена земляная работа частью въ выемкѣ частью въ насыпи: *QEB* есть выемка, *QDA* насыпь.



Чер. 159.

Объ *полуширинѣ* земляной работы говорено было уже въ § 66: такъ называется горизонтальное разстояніе отъ оси работы до края ея, хотя это разстояніе рѣдко бываетъ равно половинѣ ширины работы; полуширины по обѣимъ сторонамъ оси большею частью различны между собою.

Каждая полуширина состоитъ изъ дѣйствительной половины ширины полотна и горизонтальной ширины откоса, которая опредѣляется вычисленіемъ или чертежомъ.

Въ каждомъ изъ трехъ чертежей *C* есть точка поверхности земли, на оси работы, *F* соотвѣтственная точка полотна, находящаяся на одной отвѣсной линіи съ *C*; *DG* и *EH* отвѣсныя линіи проходящія чрезъ края полотна; *DF* и *EF* полуширина полотна.

Въ чертежѣ 157, гдѣ поверхность земли горизонтальна, *GA* и *HB* суть основанія откосовъ; *CA* и *CB* полуширины земляной работы.

Въ чертежахъ 158 и 159, гдѣ земля имѣетъ поперечный уклонъ, отвѣсныя линіи, проходящія чрезъ *D*, *F* и *E* про-

должаются если нужно до пересѣченія съ горизонтальными *ALM* и *BNR*, проходящими чрезъ края земляной работы. *AL* и *BN* суть основанія откосовъ, *MA* и *PB* полуширины земляной работы.

Когда поверхность земли волниста и неправильна, то полуширины земляной работы опредѣляются по маасштабу на поперечныхъ прорѣзахъ; при горизонтальной или однообразно наклоненной поверхности земли, полуширины эти могутъ быть вычислены по слѣдующимъ правиламъ.

Въ каждой изъ предлагаемыхъ задачь h означаетъ глубину *CF* полотна по оси работъ; b_0 полуширину полотна *FD* или *FE*; s ширину откоса или его основаніе при высотѣ равной 1.; b' основаніе откоса.

Первая задача. Опредѣлить основаніе откоса при горизонтальной поверхности земли (чер. 157)

$$b' = \mathrm{HB} = \mathrm{GA} = sh \ldots\ldots\ldots (1.)$$

Вторая Задача. Опредѣлить основаніе откоса, когда поверхность земли имѣетъ поперечный уклонъ.

Пусть поперечное наклоненіе земли имѣетъ основаніе r на 1 высоты; r есть котангенсъ угла, который линія AB (чер. 158 и 159) составляетъ съ горизонтомъ.

1й Случай. Когда поверхность земли отдаляется отъ полотна, какъ на правой сторонѣ чертежей.

$$b' = \mathrm{BN} = \frac{rs}{r-s} \cdot \left(h + \frac{b_0}{r}\right) \ldots\ldots (2.)$$

Множитель поставленный въ скобкахъ есть HE, глубина земляной работы у края полотна.

2и Случай. Когда поверхность земли приближается къ полотну, какъ на лѣвой сторонѣ въ чертежѣ 158

$$b' = \mathrm{AL} = \frac{rs}{r+s} \cdot \left(h - \frac{b_0}{r}\right) \ldots\ldots (3.)$$

Множитель въ скобкахъ представляетъ DG, глубину края полотна.

3и Случай. Когда поверхность земли пересѣкаетъ полотно между срединой его и краемъ по лѣвую сторону отъ средины (чер. 159)

$$b' = \mathrm{AL} = \frac{rs}{r-s} \cdot \left(\frac{b_0}{r} - h\right) \ldots\ldots (4.)$$

Горизонтальное разстояніе точки перехода Q отъ оси работы есть

$$FQ = r\,h \ldots\ldots (5.)$$

Очевидно что всѣ эти формулы прилагаются какъ къ тому случаю, когда уклоны поверхности земли по обѣ стороны оси одинаковы, такъ и къ тому, когда они различны.

Полуширины работы $b_0 + b'$ съ лѣвой и правой стороны, увеличенныя шириною, которую займутъ заборы, или шириною обрѣзовъ, дадутъ всю ширину земляной работы у данной точки ея оси. По даннымъ ширинамъ въ разныхъ точкахъ можно расчитать все пространство земли, которое займетъ земляная работа, употребивъ для этаго способъ ординатъ, изложенный въ § 32. Можно также нанести изчисленныя ширины на планъ и опредѣлить это пространство посредствомъ разбивки его на треугольники или при помощи планиметра.

185. Поперечныя площади земляной работы изчисляются для того, чтобы по нимъ опредѣлить объемъ земляной работы. При неправильной поверхности земли площади эти опредѣляются графически по чертежу прорѣза, но когда поверхность земли имѣемъ однообразные уклоны, то изчисленіе площадей можетъ быть сдѣлано по тѣмъ же даннымъ, какъ и ширина земляной работы т. е.

Уклону поверхности земли $1:r$; уклону откосовъ $1:s$; полуширинѣ полотна b_0; высотѣ или глубинѣ работы на оси h. Площадь будетъ означаться буквою S.

Первая Задача. При горизонтальной поверхности земли (чер. 157)

$$S = FC \cdot GB = h\,(2\,b_0 + b') = 2\,b_0\,h + s\,h^2 \ldots\ldots (1.)$$

Вторая Задача. При наклонной поверхности земли, не пересѣкающей полотна

(чер. 158.) Трапеція $GDEH = DE \cdot FC = 2\,b_0\,h$

$$\text{Треугольникъ } BHE = \frac{BN \cdot HE}{2} = \frac{r\,s}{2\,(r-s)} \cdot \left(h + \frac{b_0}{r}\right)^2$$

$$\text{Треугольникъ } AGD = \frac{AL \cdot GD}{2} = \frac{r\,s}{2\,(r+s)} \cdot \left(h - \frac{b_0}{r}\right)^2$$

$$S = 2\,b_0\,h + \left(\frac{r\,s}{2\,(r-s)}\,h + \frac{b_0}{r}\right)^2 + \frac{r\,s}{2\,(r+s)} \cdot \left(h - \frac{b_0}{r}\right)^2 \ldots\ldots (2.)$$

этому выраженію можно дать видъ.

$$S = \frac{s b_0^2 + 2 r^2 b_0 h + r^2 s h^2}{r^2 - s^2} \ldots\ldots (3.)$$

Таже площадь можетъ быть получена вычитаніемъ площади треугольника E D K изъ площади A B K

$$S = \frac{(A M + P B) . C K - D E \cdot F K}{2}$$

или $$S = \frac{r^2 s}{r^2 - s^2}\left(h + \frac{b_0}{s}\right)^2 - \frac{b_0^2}{s} \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Выводъ этотъ употребителенъ когда есть таблица квадратовъ.

Третья Задача. При пересѣченіи поверхности земли съ полотномъ (чер. 159.)

Тутъ имѣется два подобныхъ треугольника Q B E и Q A D, одинъ представляетъ выемку, другой насыпь. Назовемъ площадь большаго треугольника S', а площадь меньшаго S'' тогда

$$S' = \frac{(B P + F Q) \cdot E H}{2} = \frac{(b_0 + r h)^2}{2 (r - s)} \ldots\ldots\ldots (5.)$$

$$S'' = \frac{(A M - F Q) \cdot D G}{2} = \frac{(b_0 - r h)^2}{2 (r - s)} \ldots\ldots\ldots (6.)$$

При совпаденіи точекъ Q, C и F, $h = 0$ и $S' = S''$.

186. Объемы земляныхъ работъ.

1й Случай. Когда даны площади S_0 и S_1 двухъ поперечныхъ прорѣзовъ и горизонтальное разстояніе x между ними, то объемъ V будетъ приблизительно

$$V = x \frac{S_0 + S_1}{2} \ldots\ldots (1.)$$

2й Случай. Когда даны площади трехъ равно остоящихъ прорѣзовъ S_0, S_1 и S_2 и горизонтальная длина x земляной работы, то приблизительно

$$V = x \frac{S_0 + 4 S_1 + S_2}{6} \ldots\ldots\ldots (2.)$$

3й Случай. Площади двухъ поперечныхъ прорѣзовъ даны, третья изчисляется. Уравненіе (2) дастъ болѣе близ-

кій къ истинному объемъ, если по даннымъ крайнимъ поперечнымъ прорѣзамъ земляной работы, изчислить площадь прорѣза сдѣланнаго по срединѣ между ними.

Пусть b_0 половина ширины полотна, h_0 высота работы въ первомъ, h_2 въ второмъ прорѣзѣ, x длина работы.

Въ случаѣ горизонтальной поверхности земли

$$\left.\begin{aligned} V &= x\left[b_0(h_0+h_2)+s\,\frac{h_0^2+h_0h_2+h_2^2}{3}\right] \\ &= x\left[b_0(h_0+h_2)+s\left\{\frac{(h_0+h_2)^2}{4}+\frac{(h_0-h_2)^2}{12}\right\}\right] \end{aligned}\right\} \quad \ldots (3.)$$

второй видъ формулы употребителенъ, когда есть таблица квадратовъ.

При наклонной поверхности земли къ этому выраженію придается

$$\frac{x\,(b_0+s\,h_1)^2}{2}\left\{\frac{1}{r-s}-\frac{1}{r+s}\right\} \quad \ldots . (4.)$$

здѣсь h_1 есть ариѳметическая средняя между h_0 и h_2.

4ш Случай. При четномъ числѣ равно отстоящихъ прорѣзовъ, которыхъ площади суть S_0, S_1 . . . . $S\,m$; разстояніе между ними $\triangle x$.

$$V = \triangle x\left\{\frac{S_0}{2}+S_1+S_2+\ldots\ldots+\frac{S\,m}{2}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (5.)$$

5й Случай. При нечетномъ числѣ прорѣзовъ.

$$\left.\begin{aligned} V = \frac{\triangle x}{3}\Big\{ & S_0+4S_1+2S_2+4S_3+2S_4+\ldots. \\ & 2S_{n-1}+4S_{n-2}+S_n\Big\} \end{aligned}\right\} \quad \ldots (6.)$$

Объемы земляныхъ работъ должны быть выражены въ кубическихъ саженяхъ: если размѣры поперечныхъ прорѣзовъ даны въ футахъ, то площади ихъ будутъ въ квадратныхъ футахъ, разстоянія же прорѣзовъ обыкновенно бываютъ въ саженяхъ и потому получаемые выводы должно дѣлить на 49.

Чтобы избѣжать необходимости дѣлить на 49, можно всѣ размѣры поперечныхъ прорѣзовъ выражать въ саженяхъ, для этаго надобно при нивеллированіи употреблять рейки съ десятичнымъ дѣленіемъ сажени.

ОТДѢЛЪ III. ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХЪ РАБОТЪ.

187. Развѣдка грунта производится просверливаніемъ въ немъ скважинъ, $3^1/_2$ или 4 дюймовъ въ діаметрѣ, сквозь которыя достаютъ образцы земель и матеріаловъ, находящихся на разныхъ глубинахъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ предполагается производить работы.

Эти образцы получаются разбитыя сверломъ, въ видѣ маленькихъ кусковъ или пыли, иногда же въ видѣ тѣста или грязи, потому что во время сверленія въ твердой породѣ подливаютъ въ скважину воду для того, чтобы сверло не разгорячалось. По такимъ образцамъ можно судить объ минералогическихъ и химическихъ свойствахъ почвы, но не объ томъ что нужно для строителя; т. е. не объ статическихъ свойствахъ земли и твердости при разработкѣ. Объ послѣднемъ впрочемъ получается нѣкоторое весьма неопредѣленное понятіе по сопротивленію породы при сверленіи въ ней скважины. Такого рода развѣдка можетъ даже ввести въ ошибку тѣмъ, что можно случайно встрѣтившійся на мѣстѣ сверленія камень принять за часть пласта, котораго дѣвитейстльно нѣтъ.

Чтобы получить болѣе опредѣленныя данныя объ грунтѣ надобно рыть шахты или колодцы до дна предполагаемыхъ выемокъ; но по дороговизнѣ этой работы, нельзя производить ее исключительно. Лучшее средство соединенія колодцевъ съ буровыми скважинами состоитъ въ прорытіи для каждой выемки однаго колодца въ томъ мѣстѣ гдѣ глубина ея будетъ самая большая и въ просверленіи скважинъ въ разстояніи 100 или 150 сажень отъ нее, чтобы видѣть нѣтъ ли перемѣнъ въ напластованіи земли.

Буровые инструменты дѣлаются изъ желѣза и концы ихъ навариваются сталью. Наконечникъ бурава длиною около 3 футъ дѣлится на двѣ части почти равныя между собою по длинѣ: нижняя есть собственно наконечникъ, которымъ производится скважина, а верхняя стержень, квадратнаго сѣченія отъ 1 до $1^1/_4$ дюйма въ сторонѣ, онъ оканчивается винтомъ, на который навинчиваются *штанги* буроваго стержня. Штанги эти имѣютъ тоже поперечное сѣченіе, какъ и верхняя часть наконечника и длину около 10 футъ, на одномъ концѣ каждой штанги есть винтъ, а на другомъ гайка, которыми штанги свинчиваются и образуютъ буровой стержень требуемой длины. На верхъ

стержня навинчивается голова со стременемъ, сквозь которое проходитъ цѣпь или канатъ, которымъ можно поднимать буръ.

Буровые наконечники имѣютъ разныя формы, смотря по грунту, въ которомъ производится работа; ихъ есть три главныхъ вида; ложки, винтовыя напарья и сверла или долота.

Ложка (auger) для сверленія въ обыкновенной землѣ, есть цилиндръ изъ листоваго желѣза, съ боковой продольной скважиной, которой одинъ край зостренъ, дно у него шаровое: иногда на концѣ его бываетъ небольшое винтовое напарье, иногда дно имѣетъ форму винтовой поверхности съ острымъ ребромъ. Образцы грунта входятъ во внутренность ложки, и вмѣстѣ съ нею поднимаются изъ скважины.

Винтовое напарье (worm) употребляется въ грунтахъ средней твердости, имъ разрывается грунтъ, который по томъ вынимаютъ ложкою. Какъ тотъ такъ и другой наконечникъ должны быть ввинчиваемы въ землю: это дѣлается ключомъ или рычагомъ; вращеніе производится всегда слѣва на право въ туже сторону, въ какую нарѣзаны винты и гайки на штангахъ.

Для сверленія въ каменистомъ грунтѣ употребляются *долота* (jumpers): они тоже бываютъ разной формы: съ плоскимъ остріемъ, нѣсколькими пирамидальными остріями и т. п. Сверленіе долотомъ производитси ударами, его каждый разъ поднимаютъ на нѣкоторую высоту, съ которой оно падаетъ; послѣ каждаго удара его нѣсколько поворачиваютъ. Долото очень часто привѣшивается къ веревкѣ, вмѣсто привинчиванія къ буровому стержню. Камень, разбитый долотомъ въ куски, вынимается ложкою или иногда воронкою, которая бываетъ при долотѣ.

Буровую скважину надобно иногда предохранять отъ обвала сыпучихъ породъ, сквозь которыя она проходитъ или отъ залитія грунтовою водою; это дѣлается посредствомъ чугунныхъ или желѣзныхъ обсадныхъ трубъ, которыя забиваются въ землю и погружаются вмѣстѣ съ увеличеніемъ глубины скважины. Труба состоитъ изъ наращиваемыхъ одинъ на другой счалковъ, конецъ нижняго счалка заостренъ.

Глубина слоя мху, грязи или пловучаго песку опредѣляется посредствомъ желѣзнаго стержня называемаго *щупомъ* (pricker.)

Рытье шахтъ и колодцевъ изложено будетъ въ статьѣ объ тонеляхъ.

При назначеніи на бумагѣ свѣдѣній, собранныхъ во время развѣдки грунта, надобно на чертежахъ показывать только тѣ данныя, которыя получены на мѣстѣ т. е. назначивъ линію буровой скважины, показать пройденные грунты только у этой скважины; пространство же между двумя скважинами, на которомъ развѣдка не производилась, оставлять чистымъ, предоставивъ соображенія объ напластованіи земли на этомъ пространствѣ тому, кто будетъ разсматривать и употреблять въ дѣло чертежъ.

188. Уравненіе земляныхъ объемовъ (equalizing) состоитъ въ расположеніи проэктныхъ линій сооруженія такъ, чтобы объемы выемокъ были равны объемамъ насыпей: навыкъ назначать линіи проэкта такъ, чтобы это условіе было приблизительно выполнено, получается скоро. Соблюденіе этаго условія уменьшаетъ издержки на производство работъ. Если объемъ выемокъ болѣе объема насыпей, то приходится излишнюю вынутую землю, отвозить въ сторону отъ работъ и образовать изъ нея *кавальеръ* (spoil bank); а когда земли изъ выемокъ не достаетъ на насыпи, то надобно брать недостающую землю изъ *резервовъ* (side cutting) со стороны. Повышеніемъ проэктной линіи въ первомъ и пониженіемъ ея въ второмъ случаѣ можно уравнять выемки съ насыпями, уменьшивъ одни и увеличивъ другія, количество работъ тогда уменьшится.

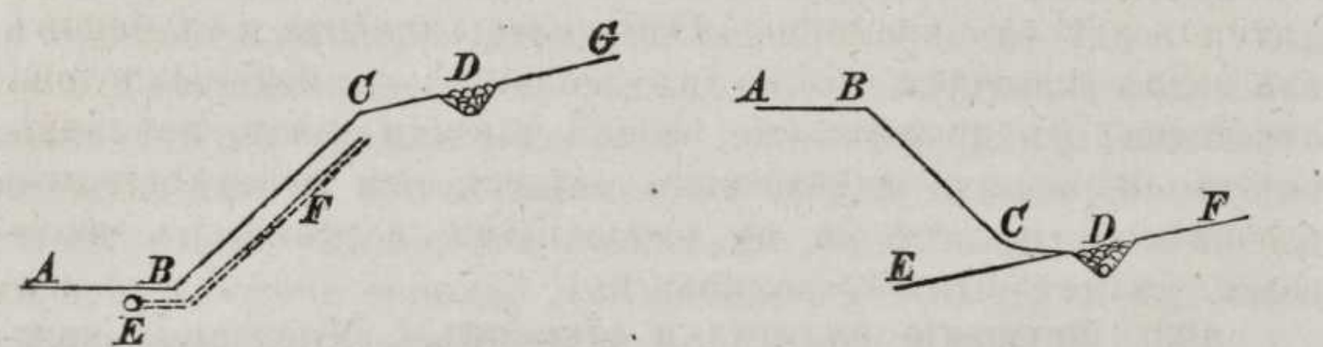
Но бываютъ случаи когда выгоднѣе взять для насыпи землю изъ резерва который близко къ ней находится, нежели возить ее изъ далеко отстоящей выемки на линіи работъ; или обратно иногда выгоднѣе бросить въ сторону излишне вырытую землю, нежели перевозить ее въ далеко отстоящую насынь.

189. Времянная изгородь, устроиваемая прежде открытія работъ, должна окружать все то пространство, на которомъ онѣ будутъ производиться, включая обрѣзы, или ту полосу земли, которая вырѣзывается подъ сооруженіе сверхъ пространства занимаемаго собственно земляными работами. Въ мѣстахъ ненаселенныхъ обрѣзы могутъ быть въ 9 футъ ширины, но въ мѣстахъ населенныхъ, также въ садахъ и вообще гдѣ цѣнность земли велика, обрѣзы могутъ быть уже.

Постоянные повѣрительные знаки высотъ удобнѣе всего помѣщать у изгороди.

190. Отводную канаву (catchwater drain) по одну или обѣ стороны земляной работы можно сдѣлать, при мокромъ грунтѣ, въ одно время съ устройствомъ изгороди; рытье ее надобно начинать отъ какой нибудь другой канавы, ручья, оврага или вмѣстилища воды и вести работу вверхъ по уклону земли. Даже въ случаѣ сухаго грунта такая отводная канава полезна съ одной стороны работъ, и именно съ той, гдѣ поверхность земли имѣетъ уклонъ въ сторону работы.

Такъ на чертежѣ 160, AB есть часть полотна, BC одинъ изъ откосовъ предполагаемой выемки; CG поверх-



Чер. 160 и 161.

ность земли, уклономъ въ сторону C; D отводная канава, которая не допускаетъ воду стекать съ поверхности CG на откосъ CB и его портить; на чертежѣ 161 AB есть часть полотна, BC откосъ насыпи, EF поверхность земли уклономъ отъ F къ E; D отводная канава, которая не допускаетъ скопленія воды у подошвы насыпи. Канава эта можетъ быть открытая отъ 3 до 4 футъ ширины, 2 или 3 футъ глубины; это можетъ быть также подземная труба изъ камня или кирпича, и наконецъ просто дренажная труба, заваленная хрящемъ или крупнымъ пескомъ, какъ это показано на чертежахъ.

191. Растительная земля и дернъ, покрывающія обыкновенно поверхность земли снимаются на толицину отъ 3 до 6 дюймовъ и складываются по обрѣзахъ для того, чтобы потомъ употребить ихъ не покрытіе откосовъ земляной работы.

192. Производство выемокъ должно открывать преимущество съ того конца къ которому полотно имѣетъ уклонъ: этимъ обличится отвозка земли и отведеніе воды.

Выемка начинается, когда земля можетъ держаться

отвѣсно нѣкоторое время, прорытіемъ *кювета* (gullet) съ отвѣсными стѣнками такой ширины, чтобы на днѣ его можно было положить два ряда катальныхъ досокъ или два временныхъ желѣзныхъ пути, для отвозки земли. Уширѣніе кювета до полной мѣры полотна и образованіе откосовъ не должно далеко отставать отъ головы работъ или отъ конца кювета, потому что когда земля стоитъ долгое время съ отвѣсной стѣнкой, ничѣмъ не поддержанная, тогда въ ней образуются трещины, которые могутъ зайти за линіи предполагаемыхъ откосовъ; потомъ когда работа будетъ окончена, эти трещины могутъ быть причиною сползанія откосовъ. Голова работъ, а также бока не конченной выемки, при большой глубинѣ, дѣлаются ступенями (lifts) высотою отъ 6 до 8 футъ; на нихъ помѣщаются копальщики и работа производится вездѣ одновременно. Отъ головы кювета и съ боковъ его земля кладется прямо въ вагоны, въ которыхъ она отвозится; съ другихъ же частей выемки землю накладываютъ сперва въ землевозныя телѣжки или тачки (barrows) въ нихъ подвозятъ ее по катальнымъ доскамъ къ вагонамъ, въ которые ее сваливаютъ.

193. Осушеніе полотна и откосовъ. Уподошвы каждаго откоса выемки непремѣнно должна быть для спуска воды продольная канава глубиною отъ 6 дюймовъ до 2 футовъ, смотря по обстоятельствамъ: это можетъ быть обыкновенная открытая канава, иногда одѣтая камнемъ, крытая каменная или кирпичная труба или рядъ дренажныхъ трубъ засыпанныхъ камнями и крупнымъ пескомъ какъ E (чер. 160.) Эта канава или труба можетъ принимать воду изъ трубокъ, положенныхъ поперегъ полотна или поперегъ откосовъ какъ F: послѣднія трубы кладутся обыкновенно на глубинѣ $2^1/_2$ футъ. Водосточная труба E недолжна быть на продолженіи линіи откоса BC если онъ не поддержанъ каменною стѣною; иначе откосъ можетъ сползти и раздавить трубу. — Если въ откосахъ выемки окажутся ключи, то для отвода доставляемой ими воды должны быть устроены особыя канавы.

194. Уроки земляной работы. Работа эта состоитъ изъ вырыванія земли, наваливанія ея въ телѣжки или вагоны, перевозки и вываливанія ея на мѣстѣ насыпи.

Количество работы потребное для *вырыванія* земли зависитъ отъ ея твердости. Сыпучій песокъ или гравій, мягкая растительная земля, черноземъ и торфъ берутся простыми

лопатами; болѣе твердыя земли должны быть прежде разрыхлены желѣзными лопатами; мягкіе камни могуть быть раздробляемы кирками, для ломки твердыхъ камней надобно употреблять желѣзные клинья, наконецъ самыя твердыя породы взрываются порохомъ, о чемъ будетъ говорено въ особомъ параграфѣ.

Перевозка въ телѣжкахъ производится по катальнымъ доскамъ, которыхъ уклонъ недолженъ превосходить одной двѣнадцатой, когда хотятъ обойтись безъ употребленія канатовъ и воротовъ или шпилей.

Для перевозки земли въ вагонахъ устраиваются временные желѣзныя дороги, она производится лошадьми или малыми паровозами; самые же вагоны такъ устроены, что ящики съ землею могутъ опрокидываться для вываливанія ея, вращаясь на горизонтальной оси.

Наваливаніе земли въ телѣжки производится лопатами: работа эта для даннаго по *вѣсу* количества земли, съ перевозкою ея отъ мѣста выемки къ мѣсту насыпи, вываливаніемъ въ вагоны и перевозкою въ вагонахъ почти одинакова для всѣхъ родовъ земель. Для даннаго *объема* земли всѣ эти работы требуютъ силъ пропорціональныхъ вѣскости земли.

Чтобы производить выемку скоро и выгодно надобно опредѣлить точнымъ образомъ абсолютное и пропорціональное число копальщиковъ, навальщиковъ и возчиковъ такъ, что бы постоянно всѣ рабочіе были заняты.

Совершенно точное опредѣленіе рабочихъ силъ можетъ быть сдѣлано только на основаніи непосредственнаго опыта; но приблизительные расчеты можно основать на нѣкоторыхъ извѣстныхъ фактахъ.

Абсолютное число *копальщиковъ* опредѣляется фронтомъ работы или длинною той линіи, по которой можно ихъ разставить для производства выемки; разстояніе между копальщиками, чтобъ они не мѣшали другъ другу должно быть не менѣе 5 или 6 футъ.

Отношеніе числа *навальщиковъ* къ числу *возчиковъ* опредѣляется приблизительно на томъ основаніи, что для положенія земли въ телѣжку нужно столько же времени, сколько на отвозъ полной телѣжки, вывалку изъ нея земли и возвращеніе назадъ, если растояніе перевозки отъ 14 до 17 сажень, при телѣжкахъ поднимающихъ 4 пуда земли, отъ 20 до 24 сажень при телѣжкахъ въ 6 пудовъ или въ 2 кубическихъ фута; разстояніе это называется *переходомъ*. По

урочному положенію въ Россіи употребляются телѣжки послѣдней мѣры, поэтому здѣсь будетъ приниматься что въ ручной телѣжкѣ помѣщается 2 куб. фута земли, и что переходъ имѣетъ длину 24 сажени.

Когда телѣжка должна быть возима съ землею въ гору, то каждая сажень подъема должна считаться за 6 сажень прибавочнаго горизонтальнаго разстоянія. На этомъ основаніи выводится слѣдующая формула для опредѣленія числа n возчиковъ на однаго навальщика.

$$n = \frac{l + 6h}{24} \ldots . (1.)$$

здѣсь l означаетъ разстояніе перевозки, h высоту подъема. Число телѣжекъ должно быть одною больше противъ числа возчиковъ: число это будетъ называтся *линіею.*

Навальщикъ можетъ отбрасывать землю на разстояніе 10 футъ, и вверхъ до 4 футъ: при необходимости перебрасывать землю на большее разстояніе или на большую высоту, надобно поставить навальщиковъ въ нѣсколько рядовъ.

Отношеніе между копальщиками и навальщиками (поставленными въ одинъ рядъ) зависитъ отъ твердости земли: вотъ нѣкорорыя данныя объ числѣ копальщиковъ на однаго навальщика при разныхъ грунтахъ

Рыхлый песокъ и черноземъ	0
Плотная земля	$^1/_2$
Обыкновенная глина	$^1/_2 - 1$
Твердая глина	$1^1/_2 - 2$

Въ Англіи *землею однаго человѣка* (earth of one mane) называютъ ту, для рытья которой нуженъ одинъ навальщикъ на одну линію возчиковъ; *землею полуторыхъ человѣкъ,* когда на двѣ линіи возчиковъ надобно поставить двухъ навальщиковъ и однаго копальщика; *землею двухъ человѣкъ* когда на одну линію возчиковъ ставится одинъ навальщикъ и одинъ копальщикъ; вообще земля называется по числу людей, навальщиковъ и копальщиковъ, вмѣстѣ, которые доставляютъ землю для одной линіи возчиковъ. Если m есть это число, то общее число рабочихъ при одной линіи возчиковъ будетъ

$$M = m + n \ldots . (2.)$$

Быстрота производства выемки, когда нѣтъ особенныхъ затрудненій можетъ считаться на каждую линію возчиковъ,

при рыхломъ пескѣ и черноземѣ до $1^1/_2$, а при плотной землѣ и глинѣ до $1^1/_4$ кубической сажени въ день.

Производство выемки можетъ быть иногда значительно облегчено, особенно при уширеніи кювета подрываніемъ его стѣнокъ съ снизу и ссовываніемъ верха стѣнокъ ломами сверху.

Землевозный вагонъ содержитъ столько же земли сколько 25 телѣжекъ, а какъ скорость лошадинаго хода почти на одну пятую болѣе скорости человѣческаго ходу, то можно считать вагонъ соотвѣтствующимъ 30 телѣжкамъ, и слѣдовательно въ то время когда одинъ навальщикъ наполнитъ землею одинъ вагонъ, другой вагонъ можетъ быть отвезенъ на разстояніе около 720 сажень лошадьми, опороженъ и привезенъ назадъ пустымъ.

Если нагруженные вагоны должны подниматься вверхъ и рельсы, по которымъ ихъ возятъ находятся въ хорошемъ состояніи, то можно считать 1 сажень подъема за придаточныхъ 150 сажень горизонтальнаго разстоянія.

Пусть L есть горизонтальное разстояніе перевозки земли въ вагонахъ лошадьми, H высота подъема въ саженяхъ; то число навальщиковъ которое должно быть поставлено на одинъ вагонъ будетъ около

$$\frac{720}{L + 150\,H} \quad \ldots\ldots (3.)$$

обратная величина есть число вагоновъ въ одну линію на каждаго навальщика въ одномъ ряду: но кромѣ этихъ должны быть лишніе вагоны, которыя бываютъ въ ходу въ то время, когда одни накладываются, а другіе опоражниваются. При употребленіи паравозовъ, скорость значительно увеличивается и число вагоновъ уменьшается. Вагоны о которыхъ здѣсь говорится содержатъ отъ $^1/_6$ до $^1/_4$ куб. сажени земли или отъ 160 до 250 пудовъ, самые же вагоны вѣсятъ отъ 60 до 90 пудовъ: расчитывая рабочую силу для перевозки надобно принимать треніе въ 1—150го полнаго груза вагоновъ сверхъ составляющей, которая зависитъ отъ уклона; силу тяги лошади, которая идетъ шагомъ можно считать въ 3 пуда.

Когда перевозка земли производится лошадьми въ телѣгахъ по обыкновенной дорогѣ, тогда надобно считать объемъ земли, поднимаемой одною телѣгою въ шесть ручныхъ телѣжекъ, а скорость перевозки лошадьми на одну шестую

болѣе скорости перевозки людьми, такъ что каждую конную телѣгу въ движеніи можно считать за семь ручныхъ телѣжекъ При опредѣленіи числа телѣгъ должно положить лишнія на тѣ, которыя нагружаются и которыя опорожниваются.

195. Бермами называются площадки устроиваемыя въ откосахъ, ширина ихъ не превосходитъ шести футъ, въ поперечномъ сѣченіи онѣ горизонтальны. Ихъ дѣлаютъ въ глубокихъ выемкахъ для того, чтобы на нихъ останавливались обвалы съ верхнихъ частей откосовъ и не доходили до полотна выемки, гдѣ они могутъ надѣлать вреда; бермы эти способствуютъ осушенію откосовъ. Каждая берма должна имѣть продольный уклонъ, и у подошвы выше лежащаго откоса должна быть канава для отвода воды, падающей на этотъ откосъ; канава эта въ родѣ канавы *E* (чер. 160.)

196. Предупрежденіе спалзываній. Спалзываніе откосовъ происходитъ отъ дѣйствія воды, чтобы его предупредить надобно прибѣгнуть къ способамъ осушенія, изложеннымъ въ § 189 и 193. Когда эти способы не достаточны, тогда надобно употребить другіе: поперечныя отводныя канавы должно помѣстить близко одна къ другой и въ большомъ числѣ; сдѣлать особенные водоотводы къ боковымъ канавамъ отъ ключей; обложить откосы сухой каменной одеждой толщиною отъ 8 до 18 дюймовъ, смотря по обстоятельствамъ; срыть часть откоса у подошвы и замѣнить его крупнымъ пескомъ или щебнемъ, въ такую рисберму откосъ будетъ упираться, ее можно усилить быками или контрфорсами, для устройства которыхъ врываются въ откосъ траншеями по направленію перпендикулярному къ подошвѣ и наполняютъ эти траншеи мелкимъ камнемъ или щебнемъ; такая рисберма дѣйствуетъ какъ поддерживающая стѣна и какъ осушительная канава или водоотводъ; при подошвѣ откоса для поддержанія и осушенія его можно устроить стѣну изъ камней положенныхъ на сухо, или изъ кирпича на растворѣ съ облицовкою изъ камня на сухо положеннаго; отвести грунтовую воду притекающую къ откосу посредствомъ подземной трубы.

Объ поддерживающихъ стѣнахъ будетъ говорится въ статьѣ о каменной работѣ, а объ подземныхъ трубахъ въ статьѣ о тонеляхъ. Бываютъ иногда случаи, что всѣмѣры, принимаемыя противъ спалзыванія и обваловъ, не достигаютъ цѣли; тогда надобно предоставить землѣ самой принять естественный свой откосъ, сплывающую же и обвали-

вающуюся на полотно выемки землю по временамъ выгребать и отвозить. При увеличеніи отлогости откосовъ, пространство занимаемое выемкою увеличается и нужно пріобрѣтать новую землю.

197. Осадка насыпей, послѣ ихъ возведенія, бываетъ различна смотря по роду земли и обстоятельствамъ, сопровождавшимъ ихъ устройство: рѣдко она бываетъ менѣе *одной двънадцатой* и болѣе *одной пятой* доли первоначальной высоты. Лучшее средство опредѣлить вѣроятную осадку состоитъ въ томъ, чтобы сдѣлать наблюденіе надъ построенною частью насыпи; на полученную изъ этаго ноблюденія величину осадки надобно увеличить высоту остальной части насыпи.

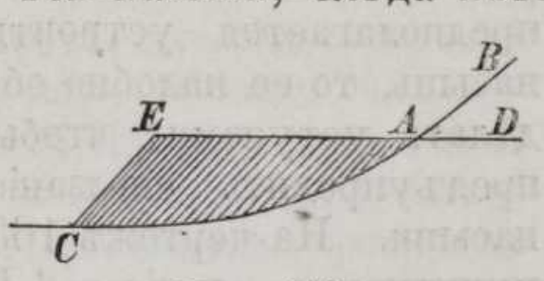
197. Разпредѣленіе земляной работы составляетъ назначеніе куда разныя части выемки должны быть перемѣщены для образованія насыпей съ наименьшею потерею работы на перевозку. Для соблюденія этаго условія надобно держаться двухъ слѣдующихъ правилъ: для возведенія насыпи брать земли изъ ближайшей выемки; назначать пути для перевозки землю такъ, чтобы они не перекрещивались между собою.

Среднее разстояніе перевозки части выемки къ той части насыпи, которая изъ нее устроивается, почти равно разстоянію центровъ тяжести этихъ объемовъ.

199. Возведеніе насыпей. Лучшіе матеріалы для насыпей суть тѣ, которые обладаютъ въ наибольшей степени постоянною устойчивостью тренія, таковы обломки камней, хрящъ, гравій, чистый песокъ. Глина тоже хороша для образованія насыпей, если она употребляется въ дѣло въ сухомъ или почти сухомъ состояніи. Мокрая глина, черноземъ, болотная земля не годятся для насыпей; торфъ тоже не годится, если не приняты будутъ предосторожности, объ которыхъ сказано ниже.

Насыпь можетъ быть возводима: 1. Однимъ слоемъ. II. Въ два или болѣе толстыхъ слоя. III. Тонкими слоями.

1. *Однимъ слоемъ* возводятся всѣ насыпи, когда нѣтъ особенныхъ причинъ строить ихъ иначе, потому что это самый дешевый и быстрый способъ. На чертежѣ 162 BAC есть естественная поверхность земли; DA часть полотна выемки; EAC насыпь, ко-



Чер. 162.

торая строится въ направленіи AE въ полную ширину и высоту, съ запасомъ на осадку; на полотнѣ выемки и готовой части насыпи лежатъ рельсы временной желѣзной дороги, по которымъ подвозится земля въ вагонахъ къ краю E, гдѣ они опрокидываются и земля высыпается на откосъ EC который можно назвать *головою* насыпи (tip). Линіи, проведенныя на чертежѣ паралельно EC суть послѣдовательныя положенія головы насыпи по мѣрѣ ея устройства.

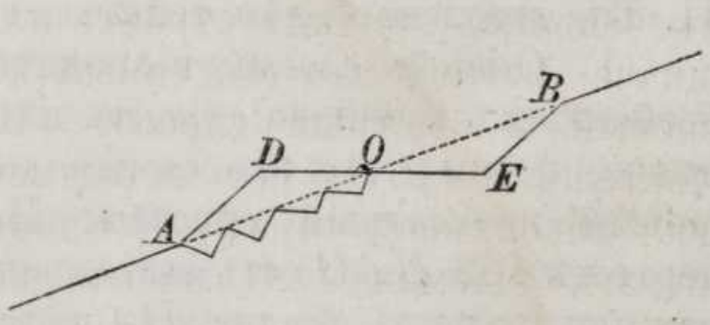
Привозимую землю не должно разсыпать по боковымъ откосамъ, потому что она можетъ въ послѣдствіи сползти.

II. *Нѣсколькими толстыми слоями* возведены были нѣкоторыя очень высокія насыпи. Способъ этотъ состоитъ въ томъ, что насыпь выводятъ на нѣкоторую высоту обыкновеннымъ выше описаннымъ образомъ, даютъ ей сѣсть и потомъ строятъ новую насыпь на осѣвшей старой. Потеря времени и труда при этомъ способѣ устройства очень велика; но онъ употребителенъ при возведеніи насыпей изъ твердой или сланцеватой глины, которая состоитъ изъ твердыхъ кусковъ не прилегающихъ плотно другъ къ другу; въ такой насыпи бываетъ много пустотъ, которыя наполняются только тогда, когда матеріалъ отъ дѣйствія воздуха и сырости размягчится.

III. *Тонкими слоями* отъ 9 до 18 дюймовъ толщины, каждый слой разравнивается и трамбуется, и новый насыпается только тогда, когда первый получилъ достаточную степень твердости. Такой медленный и дорогой способъ устройства насыпей употребляется въ нѣкоторыхъ особенныхъ случаяхъ: при засыпкѣ земли за поддерживающими стѣнами, за устоями и поверхъ арокъ мостовъ и трубъ, и при устройствѣ насыпей для водохранилищъ.

Работа по разравниванію и трамбованію земли отъ одной шестой до одной трети болѣе работы при наваливаніи ея въ телѣжки.

200. Насыпи на косогорахъ. Когда поверхность земли имѣетъ поперечный уклонъ въ томъ мѣстѣ гдѣ предполагается устроить насыпь, то ее надобно обдѣлать уступами, чтобы предъупредить сползаніе насыпи. На чертежѣ 163 пунктирная линія AB



Чер. 163.

представляетъ естественную поверхность земли, QEB есть выемка въ полугорѣ, ADQ насыпь, опирающаяся на ступени, которые вырѣзаны въ землѣ на пространствѣ между A и Q. Лучшее направленіе площадокъ есть перпендикулярное къ линіи наибольшаго давленія, которой наклоненіе къ горизонту дано уравненіемъ (14) § 183; если AD имѣетъ наклоненіе подъ угломъ покоя, то площадки ступеней близь A должны быть наклонены къ горизонту въ сторону противную AD на уголъ, полученный изъ уравненія (16) тогоже параграфа; площадки у Q могутъ быть горизонтальны. Лучше дѣлать площадки круче, нежели положе того, какъ слѣдуетъ по этому правилу.

201. Насыпи поверхъ и за каменной кладкой. При возведеніи насыпей поверхъ трубъ каменныхъ или кирпичныхъ, за поддерживающими стѣнами, устоями и крыльями мостовъ надобно остерегаться повредить каменную кладку ударами отъ паденія земли, дурно разпредѣленнымъ или внезапнымъ давленіемъ.

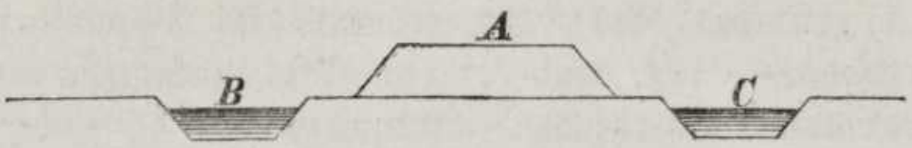
Чтобы предъупредить удары отъ паденія земли, надобно устроивать насыпь тонкими слоями, разравнивая и трамбуя каждый слой; выбирать для этой цѣли сухіе матеріалы, какъ то хрящъ и чистый крупный песокъ. Такая насыпь должна наполнять все пространство между крыльями при мостовыхъ устояхъ, а позади поддерживающихъ стѣнъ простираться отъ нихъ на 10 футъ или около того. Надъ сводами трубъ трамбованная насыпь должна составлять половину всей высоты, остальная часть насыпи можетъ быть возводима обыкновеннымъ способомъ.

Чтобы предупредить неравенство боковыхъ давленій на своды мостовъ или широкихъ трубъ, надобно вести насыпь одинаково съ обѣихъ сторонъ каменнаго строенія т. е. одновременно и въ одинакую высоту; для выполненія этаго условія можно устроить временные мостки, по которымъ перевозить землю на другую сторону каменной кладки.

202. Осушеніе насыпей. Объ водоотводныхъ канавахъ при подошвѣ откосовъ насыпей говорено было въ § 190; объ устройствѣ трубъ для отвода воды изъ подъ насыпи говорено будетъ въ статьѣ объ каменныхъ работахъ. Вообще должно избѣгать устройства насыпей въ мѣстахъ пучистыхъ и тамъ гдѣ есть ключи; но если окажется необходимымъ возвести насыпь въ такомъ мѣстѣ, то надобно устроить подъ нею трубу для отвода ключевой воды.

203. Насыпи на низменныхъ мѣстахъ. Когда дорога проходитъ по широкой долинѣ, тогда она должна въ большей части случаевъ, для того чтобъ быть постоянно въ сухомъ состоянiи, возвышаться надъ общимъ горизонтомъ мѣстности; возвышенiе это должно быть особенно велико, если случаются наводненiя.

Земля беретея изъ канавъ B и C (чер. 164) для образованiя насыпи A; канавы эти отводятъ воду въ ближайшiя рѣки и водовмѣстилища и служатъ къ быстрѣйшему отводу воды изъ долины, если она прибыла въ слѣдствiе разлива рѣки, или морскаго прилива.



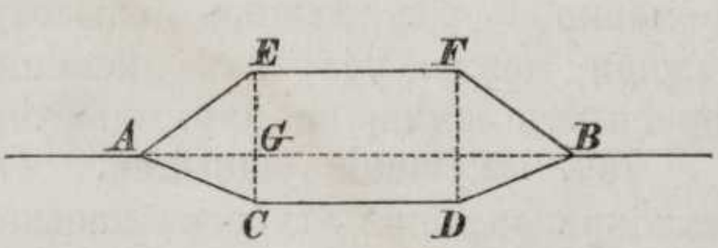
Чер. 164.

204. Насыпи на слабомъ грунтѣ. Если грунтъ такъ слабъ, что построенная на немъ обыкновенными способами насыпь можетъ въ него погрузиться, то принимаются мѣры сообразныя обстоятельствамъ. Предлагаемыя здѣсь средства расположены въ порядкѣ увеличенiя трудности и препятствiй къ возведенiю прочной насыпи.

I. Можно укрѣпить грунтъ прорытiемъ канавъ по сторонамъ предполагаемой насыпи.

II. Когда слабый грунтѣ имѣетъ опредѣленный уголъ покоя, хотя бы и меньшiй нежели та земля, изъ которой выводится насыпь, откосамъ насыпи надобно дать уклоны, соотвѣтственные углу покоя того грунта, на которомъ выводиться насыпь; тогда она будетъ имѣть большую площадь основанiя, нежели при естественныхъ откосахъ.

III. Можно устроить подъ насыпью основанiе изъ болѣе твердаго матерiала нежели грунтъ. На чертежѣ 165 $AEFB$ есть поперечный прорѣзъ предполагаемой насыпи, $ACDB$ траншеи, сдѣланной въ грунтѣ для заложенiя основанiя, края C и D находятся въ отвѣсныхъ плоскостяхъ съ краями насыпи E и F. Для начертанiя прорѣза этаго, поступите такъ:



Чер. 165.

Пусть $h = GE$ есть высота предполагаемой насыпи, w вѣсъ кубическаго фута земли изъ которой она возводится,

w' вѣсъ кубическаго фута грунта, на которомъ строятъ; φ' уголъ покоя грунтовой земли; $h' = GC$ глубина фундамента, которую требуется опредѣлить.

Положимъ кромѣ того, что $(1 - \sin \varphi') : (1 + \sin \varphi') = k'$, тогда единичная величина давленія насыпи у ея основанія CD будетъ $w(h + h')$; по уравненію (3 A) § 183 отношеніе двухъ сопряженныхъ напряженій въ грунтѣ имѣетъ низшимъ предѣломъ k'; по этому горизонтальное давленіе въ грунтѣ, сопряженое съ $w(h + h')$, не должно быть менѣе $p = k' w (h + h')$; сопряженное съ этимъ отвѣсное давленіе грунта на глубинѣ CG должно быть не менѣе $k' p = k'^2 w (h + h')$; но давленіе это есть $h' w'$. Итакъ имѣемъ уравненіе $h' w' = k'^2 w (h + h')$ изъ котораго

$$h' = \frac{h w k'^2}{w' - w k'^2} \ldots\ldots (1.)$$

Такъ какъ откосы выемки $ACDB$ должны имѣть уклонъ, соотвѣтствующій слабому грунту, то

$$\text{A G} = h \operatorname{cotang} \varphi' \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Уравненіе это даетъ величину основанія откоса насыпи $AEFB$ независимо отъ угла покоя того матеріала, изъ котораго она возводится.

IV. Грунтъ можно укрѣпить забивкою свай, какъ о томъ будетъ говорно въ статьѣ объ устройствѣ основаній.

V. Насыпь можно сдѣлать изъ легкихъ матеріаловъ каковы хворостъ, фашины или сухой торфъ: они образуютъ плотъ, который будетъ держаться на слабомъ грунтѣ, не погружаясь въ него. Употребленіе фашинъ будетъ объяснено въ послѣдствіи. Георгъ Стефенсонъ построилъ изъ сухаго торфа насыпь черезъ болото Чатъ Мосъ на Ливерпуль-Манчестерской желѣзной дорогѣ: вѣскость его въ сухомъ состояніи равна 0.83 пуда, а насыщеннаго водою 1.74 пуда; на торфъ положено было два слоя плетней для принятія баласта.

VI. Если всѣ выше изложенные способы окажутся недостаточными, то надобно возводить насыпь изъ камней, хряща или песку, бросаемаго въ болото или топь. По тяжести своей матеріалы эти будутъ погружаться въ болотную грязь и достигнутъ твердаго пласта земли на днѣ болота: ихъ надобно наваливать до тѣхъ поръ, пока насыпь получитъ требуемые размѣры; опытъ показалъ, что откосы,

которые принимаютъ насыпанные матеріалы въ болотной грязи тѣже самые, какіе они имѣютъ и на воздухѣ.

205. Планировка и отдѣлка откосовъ. Откосы какъ насыпей, такъ и выемокъ, должны быть выпланированы подъ правильныя поверхности и покрыты слоемъ растительной земли, толщиною отъ 3 до 6 дюймовъ и засѣяны травою.

Работа планированія откосовъ почти равна работѣ при производствѣ выемки толщиною въ полфута въ рыхлой землѣ при той же площади; а разсыпка растительной земли одинакова съ наваливаніемъ ея въ телѣжки.

Откосы насыпей прилегающихъ къ стоячей, спокойной водѣ могутъ быть одѣты сухимъ камнемъ на толщину однаго фута. Предохраненіе земляныхъ откосовъ отъ дѣйствія волнъ и теченія воды изложено будетъ въ статьѣ о гидравлическихъ работахъ.

206. Глиняная смазка (Clay puddle) употребляется для того чтобы сдѣлать насыпь или русло канала не проницаемымъ для воды. Лучшій матеріалъ для этаго есть глина, очищенная отъ камней, корней растѣній и т. п., и содержащая мелкій песокъ въ количествѣ, соотвѣтственномъ ея способности принимать воду: если мало песку, то тѣсто будетъ трескаться въ сухую погоду. Приготовляютъ это тѣсто, накладывая глину слоями, толщиною въ 9 дюймовъ, съ такимъ количествомъ воды, какое нужно для составленія тѣста, и перемѣшивая и разбивая ее пешнями для образованія однородной и плотной массы. Работа эта требуетъ въ пять разъ больше времени нежели наваливаніе въ телѣжки того же самаго количества глины.

207. Выломка камней, взрываніе ихъ порохомъ. Если камень такъ крѣпокъ, что не можетъ быть отдѣленъ дѣйствіемъ кирки или лома, но вмѣстѣ съ тѣмъ не на столько крѣпокъ, чтобы нужно было прибѣгнуть къ порохострѣльной работѣ, то на поверхности его протесываютъ желку или дорожку, и сверлятъ по ней дыры: въ желку вставляютъ желѣзныя клинья и ударяютъ по нимъ молотами, камень лопнетъ по направленію скажинъ. На выломку одной сажени камня этимъ способомъ по показанію Готея одинъ рабочій долженъ употребить пять дней: впрочемъ количество работы весьма различно при разныхъ породахъ.

Порохострѣльная работа можетъ быть производима малыми или большими зарядами.

I. Для *малаго заряда* въ камнѣ просверливается сква-

жина діаметромъ отъ 1 до 6 дюймовъ и глубиною отъ 1 до 30 футъ. На дно скважины кладется крупнозернистый пушечный порохъ, насыпаемый сквозь воронку или трубку, которая доходитъ почти до дна скважины; самая скважина поверхъ пороху наполняется забивкою (tamping), состоящею изъ кусковъ камней, хряща, песку, глины и т. п.; лучшій матеріалъ для этаго есть сухая глина; надобно избѣгать такихъ веществъ, которыя даютъ искры: забивку надобно производить сначала очень слабо, сильные удары можно дѣлать только тогда, когда горнъ уже покрытъ нѣсколькими дюймами забивки. Для провода фитиля можетъ быть вставлена жестяная или деревянная трубка; фитиль горитъ со скоростью 2 футъ въ минуту.

При взрывѣ трескается и отдѣляется масса камня по объему пропорціональная *кубу линіи наименьшаго сопротивленія*, т. е. кратчайшаго разстоянія отъ горна до поверхности камня; среднимъ числомъ объемъ камня двое больше этаго куба, но вообще въ разныхъ породахъ онъ различенъ.

Отношеніе вѣса отдѣляющагося камня къ вѣсу употребленнаго пороха измѣняется отъ 7 до 14 тысячь, среднимъ числомъ можно считать 10,000, Если L есть длина линіи наименьшаго сопротивленія въ футахъ а q величина заряда въ фунтахъ, то можно руководствоваться формулою.

$$q = \frac{L^3}{35} \ldots (1.)$$

Проба пороха производится или пробной мортиркой или баллистическимъ мастникомъ.

Фунтъ пороху занимаетъ $27\frac{1}{4}$ кубическихъ дюймовъ, но онъ можетъ быть сжатъ до 25 куб. дюймовъ; $27\frac{1}{4}$ куб. дюймовъ равны 34.7 цилиндрическихъ дюймовъ: это есть высота занимаемая однимъ фунтомъ пороху въ цилиндрической скважинѣ которой діаметръ равенъ одному дюйму. При другомъ діаметрѣ высота обратно пропорціональна квадрату діаметра.

Взрывъ дѣйствуетъ наилучшимъ образомъ, когда линія наименьшаго сопротивленія перпендикулярна къ оси скважины; самое невыгодное дѣйствіе бываетъ когда линія наименьшаго сопротивленія идетъ по оси скважины. Не всегда возможно повести скважину перпендикулярно къ линіи наименьшаго сопротивленія, но надобно стараться чтобы ось скважины составляла съ этой линіей возможно большій уголъ.

Если взрыва не воспослѣдуетъ послѣ сожженіи фитиля, то забивку надобно высверлить, поставить новый фитиль и снова забить скважину. Работа эта не безопасна и потому лучше посверлить новую скважину близь первой и положить новый зарядъ, при взрывѣ этаго заряда, воспламенится вѣроятно и прежній.

Работа при сверленіи скважины въ камнѣ зависитъ отъ его породы. Она производится такъ, что два человѣка бьютъ молотами по головѣ сверла, а третій человѣкъ поворачиваетъ его нѣсколько послѣ каждаго удара; или два человѣка поднимаютъ сверло и выпускаютъ его изъ рукъ, оно падаетъ и ударяетъ въ дно скважины. Послѣдній способъ дѣйствительнѣе перваго, но сверло скорѣе стирается.

Одинъ рабочій въ день можетъ просверлить скажину діаметромъ въ 1 дюймъ на глубину:

Въ гранитѣ при ударахъ молотомъ отъ 100 до 150 дюймовъ, поднимая сверло и заставляя его падать 200 дюймовъ, въ известковомъ камнѣ отъ 500 до 700 дюймовъ.

При сверленіи въ гранитѣ надобно точить сверло по проходѣ каждаго фута скважины, а наваривать новую сталь черезъ каждые 16 или 20 футъ; сверло стирается на одну десятую долю противъ пройденной глубины скважины.

Иногда уширяютъ скважину въ известковомъ камнѣ у дна посредствомъ разведенной селитряной кислоты, для образованія каморы, въ которую положится порохъ. Въ скважину вставляютъ плотно мѣдную трубку, и въ нее узкую свинцовую трубку съ воронкой на верху, сквозь которую вливаютъ селитряную кислоту, она проходитъ на дно скважины и разлагаетъ известковый камень; углекислота вмѣстѣ съ селитрокислою известью образуютъ пѣну, которая поднимается вверхъ по пространству между обѣими трубками и отводится въ сторону колѣномъ припаяннымъ къ наружной трубкѣ.

II. Для *большаго заряда* пробивается отвѣсная шахта или горизонтальная галлерея, съ камерою для заряда; камеры эти должны быть въ сторонѣ отъ галлереи, для того чтобы взрывомъ не выбросило забивку. Такія шахты или галлереи имѣютъ отъ $3^1/_2$ до 5 футъ въ сторонѣ: пробиваніе ихъ требуетъ отъ 2 до 5 рабочихъ дней на каждый погонный футъ. Послѣ очищенія шахты и застилки пола ея матами, кладутъ въ камеру порохъ въ деревянномъ

ящикѣ, котораго объемъ опредѣляется тѣмъ что въ 1 кубическомъ футѣ помѣщается 1.58 пуда пороху; нѣсколько мелкаго пороху кладется въ особую чашечку вмѣстѣ съ тонкой платиновой проволокой, связанной съ двумя мѣдными проволочными проводниками. Проводники должны быть уединены гуттаперчей или каучукомъ и помѣщены въ особой деревянной трубкѣ. Отверстіе камеры закладывается торфомъ, а галлерея наполняется бутомъ на глинѣ. Когда рабочіе отошли отъ галлереи, тогда проводники соединяются съ полюсами галваническої баттареи: электрическій токъ, проходя чрезъ платиную проволоку, накаляетъ ее до красна, отчего порохъ загорается.

Электричество употребляется преимущественно тогда, когда нужно въ одно время зажечь нѣсколько горновъ: при одномъ горнѣ можно употребить фитиль.

По совѣту Г. Сима камера должна быть такъ помѣщена, чтобы линія наименьшаго сопротивленія составляла около двухъ третей высоты взрываемой скалы. При большихъ зарядахъ отношеніе вѣса взрываемаго камня къ вѣсу пороха можетъ быть отъ 4,500 до 13,000 къ 1; среднимъ числомъ 6 или 7 тысячь.

Чтобы опредѣлить количество пороху въ фунтахъ по данной линіи наименьшаго сопротивленія, надобно кубъ этой линіи въ футахъ раздѣлить на число, измѣняющееся между 11 и 35; а еще лучше приблизительно расчитать вѣсъ взрываемой скалы и положить на каждый пудъ камня отъ $^1/_2$ до $^3/_4$ золотника пороху.

При выборѣ мѣста для заложенія скважины или шахты, надобно обращать вниманіе на естественныя жилы и трещины въ камнѣ, потому что ихъ существованіе облегчаетъ отдѣленіе камня.

Взрывы подъ водою будутъ разсмотрѣны въ особой статьѣ.

Вѣскость камней.

Породы.	вѣсъ въ пудахъ		въ 1000 пудахъ.	
	куб. фута	куб. сажени	куб. футъ	куб. сажень
Базальтъ	5·19	1779	192·84	0·561
Глина сланцеватая	4·49	1541	222.52	0·649
Гранитъ	4·55—4·77	1559—1637	219·97—209·60	0·641—0·611
Доломитъ	4·94	1697	202·27	0·590
Известнякъ	4·68—4·84	1601—1660	214·27—206·61	0·625—0·602
Кварцъ	4·58	1571	218·31	0·636
Кремень	4·55	1559	219·97	0·641
Мѣлъ	3·24—4·81	1110—1648	309·37—208·10	0·902—0·607
Песчаникъ	3·60—4·36	1233—1462	278·13—229·57	0·810—0·669
Сланецъ глинистый	4·84—5·01	1660—1719	206·61—199·49	0·602—0·582
Трапъ	4·70—	1613	212·69	0·620
Шпатъ полевой . .	4·49	1541	222·52	0·649

ГЛАВА III.

КАМЕННЫЯ СТРОЕНІЯ.

ОТДѢЛЪ I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ КАМНИ.

208. Внутреннее сложеніе камней. Въ послѣднемъ параграфѣ предидущей главы говорено было объ камняхъ, какъ объ одномъ изъ родовъ почвы, въ которыхъ производятся выемки; теперь будутъ они разсмотрѣны, какъ матеріалъ, изъ котораго возводятся строенія.

Геологическое положеніе камней имѣетъ мало вліянія на ихъ строительныя свойства: большею частью чѣмъ древнѣе порода, тѣмъ она тверже и прочнѣе, но этаго нельзя принять за общее правило, потому что есть много изключеній. При выборѣ камней для постройки инженеръ долженъ обращать вниманіе на внутреннее ихъ сложеніе и на химическій ихъ составъ.

По внутренному сложенію камни можно раздѣлить на два большіе класса: на сплошныя и слоистыя горныя породы.

I. Полагаютъ что *сплошныя* породы отвердѣли болѣе или менѣе быстро, подъ большимъ или меньшимъ давленіемъ, при остываніи изъ расплавленнаго состоянія; камни этихъ породъ большею частью тверды, плотны, крѣпки и прочны.

Вообще замѣчено, что большія массы сплошныхъ породъ построены такъ сказать изъ огромныхъ штукъ, на которыя онѣ распадаются при разрушеніи скалъ. Въ гранитѣ напримѣръ эти штуки имѣютъ форму косыхъ шестигранниковъ или ромбоидальныхъ призмъ, иногда огромныхъ размѣровъ; въ базальтѣ онѣ имѣютъ форму шести или пяти угольныхъ

призмъ, наложенныхъ одна на другую, образуя родъ столбовъ; въ трапѣ это неправильныя призмы, приближающіяся иногда по формѣ къ базальтовымъ колонамъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ при дальнѣйшемъ разрушеніи штукъ углы и грани ихъ притупляются и онѣ обращаются въ булыги скорлуповаго сложенія, которыя имѣютъ стремленіе ломаться овальными концентрическими слоями.

При выломкѣ камней сплошныхъ породъ трудъ много облегчается когда при этой работѣ слѣдуютъ естественнымъ поверхностямъ соединенія штукъ, по которымъ камни имѣютъ меньшую связь, нежели въ другихъ направленіяхъ.

При болѣе подробномъ разсматриваніи сложенія камней сплошныхъ породъ можно замѣтить, что они составляютъ скопленіе кристалловъ, тѣсно между собою связанныхъ. Въ гранитѣ и сіенитѣ кристалы эти довольно велики и замѣтны; въ трапѣ они мельче и мало замѣтны; въ базальтѣ они едва видны, такъ что базальтъ по сложенію подходитъ къ стеклу; въ лавѣ сложеніе совершенно стекляное. Разности въ сложеніи сплошныхъ горныхъ породъ бываютъ: порфировидная, когда кристалы однаго вещества заключены въ массѣ другаго вещества, и ноздреватая, когда въ сплошной массѣ бываютъ сферическія или овальныя пустоты, какъ будто въ первоначальной расплавленной массѣ были воздушные пузырьки.

Сплошная горная порода бываетъ очень часто прорѣзана жилами или трещинами, которыя бываютъ иногда пусты, иногда наполнены кристалическими массами, иногда же только стѣнки трещинъ покрыты кристалами.

Существованіе такихъ жилъ облегчаетъ раздѣленіе камней.

II. *Слоистыя* горныя породы состоятъ изъ ряда параллельныхъ слоевъ, которые очевидно образовались осадкою изъ воды и которые были въ началѣ горизонтальны, но потомъ стали болѣе или менѣе наклонны, и даже изкривились отъ дѣйствія возмущающихъ силъ. Отдѣленіе камней по направленію этихъ слоевъ легче, нежели въ другихъ направленіяхъ.

Пласты слоистыхъ породъ бываютъ часто прорѣзаны жилами иногда пустыми, иногда содержащими кристалы, иногда же образующими *дейксы* (dykes) или массы сплошныхъ породъ: такіе дейксы часто сопровождаются *сдвигами* или внезапнымъ измѣненіемъ высоты слоевъ.

Наибольшее дѣйствіе возмущающихъ силъ на уклонъ, кривизну и разрывъ слоевъ замѣчается въ близкомъ сосѣдствѣ съ сплошными породами; около нихъ сложеніе слоистыхъ породъ часто кажется измѣненнымъ сильнымъ жаромъ или большимъ давленіемъ и онѣ имѣютъ тутъ большую твердость и плотность.

Кромѣ главныхъ пластовъ или слоевъ, горная слоистая порода вообще можетъ дѣлиться на тонкіе листы; плоскости этаго дѣленія бываютъ паралельны поверхностямъ слоевъ, но часто случается, что онѣ наклонны и даже перпендикулярны къ слоямъ: это есть *листоватое* или сланцеватое сложеніе (laminated). Сланцеватые камни сопротивляются давленію гораздо лучше въ направленіи перпендикулярномъ къ плоскостямъ листовъ, нежели паралельномъ имъ, въ которомъ они вязче или лучше сопротивляются разрыву, нежели перпендикулярно къ листамъ; на воздухѣ края листовъ прочнѣе нежели ихъ плоскости. По этому камни сланцеватаго сложенія должно класть плоскостями листовъ или постелями перпендикулярно къ направленію наибольшаго давленія въ строеніяхъ, а краями листовъ по лицу стѣнъ.

Разсматривая въ подробности сложеніе слоистыхъ горныхъ породъ можно въ нихъ замѣтить слѣдующія разности:

1. *Плотное кристалическое* сложеніе въ кварцевыхъ породахъ и въ мраморѣ; оно сопровождается большою крѣпкостью и прочностью.

2. *Сланцеватое* сложеніе, когда порода обыкновенно плотная можетъ быть раздѣлена на безчисленное множество листовъ, иногда сильно наклонныхъ къ напластованію. Полагаютъ что такое сложеніе образовалось подъ очень сильнымъ давленіемъ въ направленіи къ нему перпендикулярномъ: оно облегчаетъ выломку камней. Нѣкоторые изъ камней, имѣющихъ такое сложеніе, принадлежатъ къ самымъ крѣпкимъ и прочнымъ, каковы глинистый и роговообманковый сланецъ; другіе напротивъ мягки и скоро разрушаются.

3. *Кристаллически зернистое* сложеніе, при которомъ кристаллическія зерна или плотно прилегаютъ другъ къ другу, какъ въ гнейсѣ, или связаны цементомъ изъ другаго вещества, таковы песчаники. При такомъ сложеніи камни имѣютъ различныя степени плотности, скважности, крѣпкости и прочности, отъ наивысшей до самой низшей, при которой они переходятъ въ песокъ.

4. *Плотно зернистое* сложеніе, при которомъ зерна слишкомъ малы для того, чтобъ быть замѣтными; масса камня кажется совершенно непрерывною, какъ въ голубомъ известнякѣ. Такое сложеніе сопровождается обыкновенно значительною крѣпкостью и прочностью: оно переходитъ съ одной стороны въ плотное кристаллическое съ другой въ

5. *Рыхло зернистое* сложеніе, когда зерна не кристаллическія, но имѣютъ часто форму раковинъ связанныхъ цементомъ, какъ въ икряномъ камнѣ. Рыхлостъ камней этаго сложенія очень различна, также какъ крѣпкость и прочность, которыя рѣдко бываютъ значительны. Въ низшей степени эти свойства проявляются въ мягкомъ мѣлѣ.

6. *Конгломератное* сложеніе, или *обломочное*, когда куски одпаго матеріала окружены массою другаго, какъ напримѣръ въ сѣрой вакѣ.

По *излому* или виду поверхности разбитаго камня можно судить объ внутреннемъ его сложеніи. Вотъ примѣры:

Ровный изломъ, когда поверхность излома есть плоскость, имѣющая опредѣленное направленіе, свойственъ камнямъ съ кристаллическпмъ сложеніемъ.

Неровный изломъ, когда поверхность излома имѣетъ острые выступы, принадлежитъ камнямъ съ зернистымъ сложеніемъ.

Сланцеватый изломъ бываетъ ровный по плоскостямъ листовъ и не ровный въ другихъ направленіяхъ.

Раковистый изломъ съ выпуклыми и вогнутыми поверхностями бываетъ въ камняхъ твердаго и плотнаго сложенія.

Землистый изломъ, когда поверхность шероховата, неровна, есть признакъ мягкости и хрупкости.

209. Химическій составъ камней. Всѣ вещества, которыя до сихъ поръ еще не разложены на составныя части и которыя по этому называются покамѣсть въ химіи *простыми веществами*, входятъ въ составъ камней. Эти простыя вещества соединяясь между собою, образуютъ множество различныхъ соединеній называемыхъ *простыми минералами*. Каждый простой минералъ есть опредѣленное химическое соединеніе и имѣетъ однородный составъ; то есть каждая его частица, которую можно подвергнуть наблюденію составлена также точно какъ и всякая другая. Большая часть простыхъ минераловъ различаются по первообразной формѣ кристалловъ: два минерала одинаковаго химическаго

состава могутъ принадлежать къ разнымъ видамъ, потому что имѣютъ различныя первообразныя формы кристалловъ. Томсонъ называетъ 500 видовъ минераловъ; Джемсонъ даетъ 110 родовъ, изъ которыхъ каждый содержитъ по 10 видовъ.

Массы, образующія земную кору, какъ каменистыя такъ и землистыя, сплошныя и слоистыя, состоятъ изъ простыхъ минераловъ однаго рода или нѣсколькихъ родовъ, смѣшанныхъ, но не соединенныхъ химически.

Главныя какъ химическія такъ и механическія свойства камней и земель зависятъ отъ тѣхъ минераловъ, которые находятся въ нихъ въ наибольшемъ количествѣ: число такихъ очень распространенныхъ въ природѣ минераловъ не велико, они только и будутъ здѣсь разсмотрѣны.

Главныя химическія составныя части этихъ *преобладающихъ минераловъ* суть четыре *земли*:

I. *Кремнеземъ* (Silica = 15.5) или чистый кремень, состоитъ изъ однаго пая кремнія (7.5) и однаго пая кислорода (8.0). Чистый кремнеземъ встѣчается въ большомъ количествѣ въ видѣ кварца, песку и кремня. При соединеніи съ другими землями и щелочами онъ дѣйствуетъ какъ кислота. Онъ разлагается только во фтористоводородной кислотѣ, окристалованный онъ не растворимъ въ водѣ, но есть непрямой способъ образовать изъ него въ соединеніи съ водою студенистое вещество.

II. *Глиноземъ* (Alumina = 51.4) основаніе глины, онъ состоитъ изъ двухъ паевъ глины (2×13.7) и трехъ паевъ кислорода (3×8.0). Глиноземъ чистый встрѣчается только въ рубинахъ и сапфирахъ; въ соединеніи съ другими землями онъ очень распространенъ; онъ дѣйствуетъ то какъ кислота, то какъ основаніе. Съ водою онъ составляетъ тѣсто и непрямымъ способомъ можетъ образовать студенистое вещество.

III. *Известь* (Lime = 28.5) состоитъ изъ однаго пая кальція (20.5) и однаго пая кислорода (8.0). Чистой извести въ природѣ нѣтъ; но въ соединеніи съ углекислотою и другими землями она часто встрѣчается. Она имѣетъ свойства щелочи въ сильной степени, и мало растворима въ водѣ.

IV. *Магнезія* или горькая земля (Magnesia = 20.7) состоитъ изъ однаго пая магнія (12.7) и однаго пая кислорода (8.0). Чистой магнезіи въ природѣ нѣтъ; въ соединеніяхъ съ углекислотою и другими землями она довольно

распространена, хотя и не въ столь большомъ количествѣ, какъ три прежде названныя земли. Она щелочна, хотя и не на столько, какъ известь, и очень мало растворима въ водѣ.

Въ нѣкоторыхъ преобладающихъ минералахъ слѣдующія двѣ щелочи встрѣчаются часто въ соединеніи съ землями. Присутствіе ихъ бываетъ причиною разложенія камней на воздухѣ.

V. *Кали* (Potash = 47.15) изъ однаго пая калія (39.15) и пая кислорода (80).

VI. *Натръ* (Soda = 31.3) изъ однаго пая натрія (23.3) и пая кислорода (8.0).

Въ соединеніи съ известью и магнезіею встрѣчается въ большомъ количествѣ.

VII. *Углекислота* (Carbonic acid = 22) изъ однаго пая углерода (6) и двухъ паевъ кислорода (2 × 8.0). Присутствіе углекислоты въ камняхъ указывается вскипаніемъ ихъ при налитіи на нихъ сильнѣйшей кислоты.

Изъ металовъ желѣзо и марганецъ входятъ тоже въ составъ преобладающихъ минераловъ въ сравнительно малыхъ количествахъ; химическіе эквиваленты ихъ суть: желѣза 28, марганца 27.7.

210. Преобладающіе минералы въ камняхъ суть слѣдующіе:

I. *Кварцъ* (Quartz) есть чистый кремнеземъ: удѣльный его вѣсъ отъ 2.5 до 2.7; первообразная кристаллическая его форма есть ромбоэдръ; обыкновенно же окристалованнымъ встрѣчается онъ въ формѣ шестисторонней призмы заостренной шестистороннею пирамидою.

Въ видѣ кристалла цвѣтнаго или безцвѣтнаго, прозрачнаго, онъ называется *горнымъ хрусталемъ* (rock-crystal); встрѣчающійся въ видѣ плотной прозрачной массы называется *роговымъ камнемъ* (hornstone): полупрозрачные или просвѣчивающіе куски темнаго цвѣта, попадающіеся въ мѣловыхъ толщахъ, суть *кремни* (flint). Зерна или малые кристаллы кварца, болѣе или менѣе скругленные, образуютъ *песокъ* (sand). Есть много другихъ видовъ кварца, о которыхъ здѣсь упоминать нѣтъ никакой надобности. Изъ наиболѣе распространенныхъ минераловъ кварцъ есть самый твердый и прочный.

II. *Полевой шпатъ* (Felspar) есть минеральная порода состоящая изъ земель и щелочей; въ наибольшемъ коли-

чествѣ находятся три ея вида, ниже поименованные, особенно первый. Удѣльный вѣсъ ихъ отъ 2.5 до 2. 8.

1. *Обыкновенный полевой шпатъ* или *ортоклазъ* (potash felspar) состоитъ изъ кремнезема, глинозема и кали почти въ слѣдующей пропорціи: 12 паевъ кремнезема, 1 пай глинозема и 1 пай кали.

2. *Натристый полевой шпатъ* или *альбитъ* (soda felspar) въ которомъ пай кали замѣненъ паемъ натра.

3. *Известковый полевой шпатъ* (lime felspar), въ которомъ кали замѣнено известью.

Полевой шпатъ кристаллическаго или плотно зернистаго сложенія образуетъ тѣ бѣлые или мяснаго цвѣта зерна и кристаллы, которые видны въ гранитѣ, порфирѣ и другихъ горныхъ породахъ, объ которыхъ будетъ говориться въ послѣдствіи. При листоватомъ сложеніи онъ образуетъ *звонкій камень* (clinkstone), при зернистомъ сложеніи и земмистомъ изломѣ *глиняной камень* (claystone). Онъ имѣетъ разныя степени твердости и прочности.

III. *Роговая обманка* (Hornblende) представляетъ большія различія въ наружномъ видѣ и внутренномъ составѣ; удѣльный ея вѣсъ отъ 2.7 до 3.2; химическій составъ бѣлой ея разности суть почти слѣдующій: 9 паевъ кремнезема, 3 пая магнезіи и 1 пай извести, съ небольшимъ количествомъ фтора, который можетъ быть соединенъ съ частью кальція. Самыя обыкновенныя разности ея суть темно зеленая и черная, въ которой часть кремнезема кажется замѣненною глиноземомъ въ пропорціи однаго пая послѣдняго вмѣсто трехъ паевъ перваго, а часть магнезіи равною ей частью закиси желѣза.

Темнозеленая и черная роговая обманка составляетъ большую часть массы трапа, зеленаго камня или діорита. Она попадается въ кристаллахъ, жилками и зернами и имѣетъ стекловатый блескъ, и изломъ иногда раковистый, иногда неровный, иногда сланцеватый. Это есть одинъ изъ твердѣйшихъ и прочнѣйшихъ минераловъ.

IV. *Авгитъ* по свойствамъ очень похожъ на роговую обманку: бѣлая его разность имѣетъ почти слѣдующій составъ: 4 пая кремнезема, 1 пай магнезіи, 1 пай извести; тогда какъ въ зеленой и черной разности часть магнезіи замѣнена такимъ же количествомъ закиси желѣза.

V. *Слюда* (mica) имѣетъ листоватое сложеніе т. е. дѣлится или можетъ быть раздѣлена на тонкіе, прозрачные

или полупрозрачные листы; она гибка и такъ мягка, что ее можно рѣзать ножемъ. Удѣльный ея вѣсъ отъ 2.8 до 3. Составъ одной изъ ея разностей есть слѣдующій: 30 паевъ кремнезема, 4 пая глинозема, 3 пая кали, 5 паевъ окисей желѣза и марганца.

Въ нѣкоторыхъ разностяхъ часть кали кажется замѣненною литиною и нѣкоторыми количествами окисей желѣза и марганца; нѣкоторыя виды содержать фторъ.

VI. *Хлоритъ* (Chlorite) или зеленая земля состоитъ изъ кремнекислыхъ солей магнезіи, глинозема, кали и окиси желѣза съ нѣкоторымъ количествомъ воды. По листоватому сложенію, мягкости и гибкости похожъ на слюду. Удѣльный его вѣсъ отъ 2.7 до 2.8. Встрѣчается въ малыхъ кускахъ, большими листами, и слоистыми массами.

VII. *Углекислая известь* (Carbonate of lime) состоитъ изъ однаго пая углекислоты и однаго пая извести, и образуетъ всѣ разности мрамора и известняка: камни эти будутъ описаны въ послѣдствіи.

VIII. *Доломитъ* (Dolomite) есть соединеніе углекислой извести и углекислой магнезіи въ пропорціи двухъ паевъ первой на одинъ пай второй: многіе изъ ниже описанныхъ камней принадлежатъ къ доломитамъ.

211. Раздѣленіе камней. Употребляемые въ строеніяхъ камни могутъ быть раздѣлены на три класса, смотря по той *землѣ*, которая входитъ въ составъ ихъ въ наибольшемъ количествѣ, а именно на I. *кремнистые* или *кварцевые* II. *глинистые*, III. *известковые*.

212. Кремнистыми камнями называются тѣ, въ которыхъ главная составная часть есть кремнеземъ. Съ малыми изключеніями сложеніе ихъ есть *кристаллическо-зернистое* и кристаллическія зерна въ нихъ заключающіяся тверды и прочны; такъ что ихъ слабость и разрушеніе происходятъ вообще отъ разложенія или выдѣленія какого нибудь мягкаго и менѣе прочнаго матеріала, связывающаго эти зерна въ видѣ цемента или отъ того, что вода замерзаетъ въ скважинахъ камней, если они скважисты.

Вотъ главные кремнистые камни употребляемые въ строеніяхъ:

I. *Гранитъ* и *Сіенитъ* суть сплошныя горныя породы состоящія изъ кварца, полеваго шпата, слюды и роговой обманки. Гранитами называются тѣ виды, въ которыхъ

мало или вовсе нѣтъ роговой обманки; сіенитами гдѣ мало или нѣтъ слюды.

Кварцъ заключается въ нихъ чистыми, безцвѣтными или сѣрыми кристаллами; роговая обманка (когда она есть) темнозелеными или черными кристаллами; слюда блестящими чешуйками, или зернами, состоящими изъ такихъ чешуекъ; полевой шпатъ плотными непрозрачными кристаллами бѣлаго, желтоватаго или мяснаго цвѣта.

Гранитъ лежитъ ниже первичныхъ слоистыхъ породъ и иногда прорѣзываетъ ихъ жилами, дейксами, и большими массами, которыя разламываются на ромбоидальныя штуки (§ 208.)

Прочность и твердость гранита и сіенита зависитъ отъ количества кварца и роговой обманки, въ нихъ заключающихся; полевой шпатъ и слюда суть слабѣйшія и менѣе прочныя ихъ части. Мелкость и блескъ кристалловъ полеваго шпата есть признакъ прочности, большая величина и тусклость знакъ противнаго. Красный финляндскій гранитъ содержитъ натристый минералъ, *олигоклазъ* или *сподуменъ;* онъ быстро разрушается навоздухѣ и гранитъ обращается въ дресву.

Лучшіе виды гранита суть самые крѣпкіе и прочные строительные камни. Трудность ихъ обработки, по причинѣ большой ихъ твердости, преодолѣвается толоко навыкомъ въ этомъ дѣлѣ каменотесовъ. Въ гранитѣ нельзя вытесывать мелкихъ украшеній, онъ приличествуетъ простому и массивному архитектурному стилю. Онъ употребляется въ строеніяхъ, которыя роскошны или имѣютъ большую важность, таковы маяки, набережныя, волнорѣзы, мосты черезъ большія рѣки; для этаго его перевозятъ съ большими издержками изъ отдаленныхъ мѣстъ. Очень часто камни окончательно обтесываютъ на мѣстѣ выломки для того чтобы уменьшить издержки на перевозку и воспользоваться искуствомъ каменотесовъ, привыкшихъ къ работѣ. Только въ мѣстахъ, гдѣ гранитъ въ изобиліи, его употребляютъ на обыкновенныя постройки.

II. *Гнейсъ* и *слюдяной сланецъ* состоятъ изъ тѣхъ же минераловъ какъ гранитъ, но имѣютъ слоистое сложеніе. Они встрѣчаются въ сосѣдствѣ съ гранитами, пластами очень наклоненными, изкривленными и часто образуютъ большія горы. Гнейсъ видомъ и свойствами похожъ на гранитъ, но слабѣе его и менѣе проченъ. Слюдяной сланецъ отличается

тѣмъ, что мало и вовсе не содержитъ полеваго шпата, такъ что состоитъ преимущественно изъ кварца и слюды; онъ имѣетъ листоватое или слоистое сложеніе и шелковистый блескъ слюды; матеріалъ этотъ твердъ въ направленіи, параллельномъ слоямъ, но онъ менѣе проченъ нежели гнейсъ.

Камни эти употребляются для обыкновенныхъ построекъ тамъ, гдѣ они встрѣчаются. Гнейсъ по его слоистому сложенію годенъ на лещадки. Слюдяной сланецъ въ видѣ тонкихъ досокъ можетъ служить для кровель, но хуже для этаго, нежели глинистый сланецъ.

III. *Зеленый камень, діоритъ* или *трапъ* и *базальтъ*. Это спошныя породы, состоящія изъ зернистыхъ кристалловъ роговой обманки или авгита съ полевымъ шпатомъ. Въ зеленомъ камнѣ или діоритѣ зерна меньше нежели въ гранитѣ; въ базальтѣ они едва замѣтны. Діоритъ ломается малыми штуками; базальтъ правильными призматическими столбами (§ 208). Ихъ находятъ жилами, дейксами, и пластами между слоистыми породами разныхъ эпохъ. Діоритъ обыкновенно темно зеленаго цвѣта, рѣдко бѣлаго или краснаго; базальтъ почти чернаго: эти разности цвѣтовъ получаются отъ роговой обманки или авгита, потому что полевой шпатъ бѣлъ. Обѣ эти породы очень плотны, прочны, тверды и крѣпки. Малая величина штукъ, въ которыхъ онѣ получаются и трудность обработки составляютъ причину того, что онѣ мало употребляются въ большихъ строеніяхъ; но онѣ очень хороши для обыкновенныхъ построекъ, въ особенности для мощенія улицъ.

IV. *Талькъ, хлоритовый сланецъ, мыловка* или *жировикъ*. Въ этихъ камняхъ преобладаетъ кремнекислая магнезія. Талькъ встрѣчается прозрачными или просвѣчивающими слоями листоватаго сложенія; онъ мягокъ и легко обдѣлывается. Хлористый сланецъ тоже листоватаго сложенія; онъ мягокъ, легко обдѣлывается, но не такъ прозраченъ какъ талькъ; онъ иногда употребляется для кровель, но хуже глинистаго сланца. Онъ имѣетъ зеленый или сѣрозеленый цвѣтъ и шелковистый блескъ.

Жировикъ полупрозраченъ и мягокъ, онъ жиренъ на осязаніе; цѣнится за способность выдерживать огонь.

V. *Кристаллическій кварцъ, роговикъ, кремень*. Камни эти состоятъ изъ чистаго или почти чистаго кварца. Кварцъ и роговикъ слоисты и кажутся произведены дѣйствіемъ сильнаго жара на песчаникъ; оба они плотны. Кварцъ кри-

сталлическаго, роговикъ стекловатаго сложенія. Этого самые крѣпкіе и прочные камни; но твердость ихъ такъ велика, что ихъ почти невозможно употреблять въ строеніяхъ.

Кремень попадается отдѣльными кусками въ мѣловыхъ толщахъ или въ видѣ хряща, оставшагося вѣроятно послѣ размыва мѣлу. Онъ твердъ и проченъ, но хрупокъ. Онъ употребляется въ строеніяхъ для примѣси къ известковому раствору.

VI. *Роговообманковый сланецъ* твердъ, крѣпокъ, проченъ и не проницаемъ водою; онъ употребляется на лещадки.

VII. *Песчаникъ* есть слоистая порода, состоящая изъ зеренъ песку, т. е. мелкихъ кристалловъ кварца, связанныхъ цементомъ, который обыкновенно составленъ изъ кремнезема, глинозема и извести. Въ самыхъ крѣпкихъ и прочныхъ песчаникахъ цементомъ служитъ почти чистый кремнеземъ; самые слабые и непрочные песчаники тѣ, которыхъ цементъ содержитъ много глинозему и которые похожи на мягкій полевой шпатъ или глинистые камни. Когда въ цементѣ песчаника очень много извести, то онъ скоро разрушается у морскихъ береговъ и въ городахъ гдѣ сжигаютъ мною каменнаго угля; въ первомъ случаѣ онъ разлагается хлористо водородною кислотою, въ второмъ сѣрною кислотою. *Известковые песчаники*, такъ называемые по большому содержанію извести, переходятъ постепенно въ кварцеватые известняки.

Признакомъ крѣпкости и прочности песчаника служитъ угловатость зеренъ, малое количество связывающаго цемента, свѣтлая, блестящая, почти просвѣчивающая наружность свѣже сдѣланнаго излома. Округленныя зерна, землистая, тусклая поверхность излома означаютъ слабый и непрочный камень.

Лучшіе песчаники лежатъ толстыми пластами, изъ которыхъ они выламываются штуками едва замѣтнаго слоистаго сложенія; тѣ, которые легко дѣлятся на слои суть слабые камни. Песчаники находятся во всякой геологической формаціи поверхъ первичныхъ породъ, между которыми ихъ мѣсто занимаютъ роговой камень и кварцъ: лучшіе виды песчаника принадлежатъ каменноугольной формаціи; но ихъ крѣпкость иногда уменьшается отъ тонкихъ листовъ каменнаго угля, которые дѣлятъ его на слои.

Песчаникъ бываетъ бѣлаго, желтовато краснаго цвѣта,

послѣдній происходитъ отъ присутствія окиси желѣза въ связывающемъ цементѣ. Иногда въ немъ бываютъ заключены кристаллы сѣрнистаго желѣза; на воздухѣ и въ сырости они разлагаются, въ слѣдствіе чего камень разрушается: ихъ легко узнать по желтому или желтовато сѣрому цвѣту и металическому блеску. Песчаники вообще скважисты и могутъ поглощать воду, но сырость мало имъ вредитъ, если только въ строеніи слои не имѣютъ отвѣснаго положенія; въ этомъ случаѣ проникнувшая въ скважины между слоями вода, замерзая, производитъ раскалываніе по слоямъ. Когда песчаникъ лежитъ естественною своею постелью т. е. когда слои его горизонтальны, то всякая вода, попавшая въ скважины, можетъ свободно выйти.

Лучшіе виды песчаника очень хороши для употребленія въ строеніяхъ, потому что крѣпки, тверды, и въ тоже время легко пилятся и обтесываются во всякую форму, такъ что могутъ имѣть очень разнообразное употребленіе.

213. Глинистые камни въ которыхъ глиноземъ, если и не преобладаетъ, то по крайней мѣрѣ находится въ такомъ значительномъ количествѣ, что опредѣляетъ породу камня.

I. *Порфиры* состоятъ изъ полевошпатовой массы, съ кристаллами полеваго шпата, иногда кварца, роговой обманки и другихъ минераловъ. Они имѣютъ разныя степени твердости. Та разность, въ которой полевошпатовое тѣсто мягко и землисто, называются *глинистыми порфирами;* они мало или вовсе не годятся для строительнаго дѣла. Твердѣйшій видъ, въ которомъ тѣсто плотное и кристаллическое, и масса имѣетъ красивый цвѣтъ и способность принимать полировку, иногда крѣпче гранита: онъ встрѣчается рѣдко и употребляется на украшенія.

II. *Глинистый сланецъ* или *шиферъ* принадлежитъ къ первичнымъ осадочнымъ породамъ, сложеніе его сланцеватое, направленіе листовъ имѣетъ значительное наклоненіе къ напластованію (§ 208); онъ бываетъ цвѣтомъ синевато-сѣрый, синій и пурпуровый; чѣмъ цвѣтъ темнѣе тѣмъ вообще камень крѣпче и прочнѣе. Онъ можетъ ломаться лещадками большой площади и очень малой толщины, и почти непроницаемъ для воды; эти качества дѣлаютъ его очень удобнымъ для кровель, для стѣнокъ резервуаровъ съ водою и другихъ предметовъ. Крѣпчайшіе виды глинистаго сланца имѣютъ по направленію листовъ большую

вязкость нежели всѣ до сихъ поръ испытанные камни. Признаки доброкачественности сланца суть плотность, мягкость, однородность, чистый темный цвѣтъ, блескъ и изданіе чистаго звука при ударѣ.

III. *Грауваковый сланецъ* есть листоватый глинистый сланецъ, содержащій песокъ и иногда куски слюды и другихъ минераловъ. Его употребляютъ для кровель и лещадокъ, но онъ хуже глиснистаго сланца.

214. Известковыми камнями называются тѣ, въ которыхъ преобладаетъ углекислая известь: они вскипаютъ отъ прилитія разведенной минеральной кислоты, которая соединяется съ известью и освобождаетъ углекислоту.

Сѣрная кислота составляетъ съ известью не растворимое соединеніе. Азотная и хлористоводородная кислота образуютъ съ известью растворимыя въ водѣ соединенія. Дѣйствіемъ сильнаго жара выдѣляютъ углекислоту изъ известковыхъ камней, и известь получаетъ ѣдкое или щелочное свойство и называется *живою известью*. Нѣкоторые известковые камни состоятъ изъ чистой углекислой извести; въ другихъ она смѣшана съ пескомъ, глиною, и окисью желѣза, или соединена съ углекислою магнезіею. Прочность известковыхъ камней зависитъ отъ ихъ плотности: тѣ изъ нихъ, которые скважисты, разрушаются при замерзаніи воды, а также страдаютъ отъ дѣйствія кислотъ, находящихся въ воздухѣ. Обрабатываются они по большей части легко.

I. *Мраморъ* есть плотная кристаллическая углекислая известь. Его находятъ преимущественно въ первичныхъ пластахъ и вообще въ близи огненныхъ породъ. Онъ полупозраченъ, принимаетъ высокую полировку, иногда бѣлъ, иногда разноцвѣтенъ. Это одинъ изъ прочнѣйшихъ камней. По рѣдкости и дороговизнѣ его употребляютъ только для украшеній.

II. *Плотный известнякъ* состоитъ изъ чистой углекислой извести, иногда съ примѣсью песку и глины. Онъ бываетъ различной твердости и плотности, приближаясь иногда къ мрамору, иногда къ зернистому известняку. Чаще всего онъ бываетъ цвѣтовъ бѣлаго, сѣровато синяго и свѣтло-бураго. Онъ встрѣчается въ первичныхъ и вторичныхъ пластахъ, въ особенности онъ распространенъ въ каменноугольной и ліасовой формаціи. Онъ очень употребителенъ въ строеніяхъ и прочность его зависитъ отъ степени плотности.

III. *Зернистый известнякъ* состоитъ изъ углекислой извести въ видѣ зеренъ, которыя суть раковины или куски раковинъ, связанныя цементомъ изъ извести, кремнезема и глинозема, смѣшанныхъ съ большимъ или меньшимъ количествомъ песку. Онъ всегда болѣе или менѣе скважистъ; чѣмъ менѣе скважинъ въ камнѣ, тѣмъ онъ прочнѣе. Цвѣтовъ бываетъ разныхъ, большею частью бѣлаго или свѣтлаго желтовато-бураго. Часто бываетъ при вынутіи изъ каменоломни такъ мягокъ, что рѣжется ножомъ, но потомъ на воздухѣ твердѣетъ.

Его находятъ въ разныхъ пластахъ, преимущественно въ оолитовой формаціи: тутъ онъ является въ видѣ *оолита* или *икрянаго камня* называемаго такъ потому, что зерна его круглы и похожи на рыбью икру. Пріятный цвѣтъ и сложеніе оолита, и легкость обработки сдѣлали его очень употребительнымъ въ строеніяхъ особенно тамъ, гдѣ требуется нѣжная работа. Прочность оолита очень различна. Портландскій, Батскій и камень изъ Обиньи въ Нормандіи суть образцы прочнаго оолита; непрочные виды оолита разрушаются скорѣе другихъ камней, особенно въ атмосферѣ, наполненной кислотами.

IV. *Магнезіальный известнякъ* или *Доломитъ* встрѣчается въ разныхъ видахъ отъ плотнаго кристаллическаго до скважистаго зернистаго. Онъ очень распространенъ и по наружности имѣетъ большое сходство съ известняками. Прочность его зависитъ отъ сложенія; когда оно плотно, то онъ также проченъ какъ мраморъ, на который похожъ съ виду; когда же онъ скважистъ, то скоро разрушается.

215. Крѣпкость камней. Наружные признаки, по которымъ можно приблизительно судить о сравнительной крѣпкости или слабости камней, разсказаны въ предъидущихъ параграфахъ.

Между камнями одной породы тѣ, которые имѣютъ бо̀льшую вѣскость, почти всегда имѣютъ и бо̀льшую крѣпкость.

Результаты изслѣдованій, произведенныхъ надъ крѣпкостью камней однихъ и тѣхъ же породъ, значительно разнятся между собою, что вѣроятно происходитъ отъ различія испытанныхъ образцовъ. Тѣ выводы, которые помѣщены въ таблицѣ при первой главѣ этой части, суть средніе величины между многими весьма разнящимися данными.

Г. Фербернъ въ запискѣ читанной въ Манчестерскомъ

ученомъ обществѣ и напечатанной во второй части его сочиненія: Useful informations for Engineers, представилъ выводы опытовъ надъ раздавливаніемъ песчаника въ направленіи паралельномъ слоямъ, въ которомъ его сопротивленіе составляетъ *шесть седьмыхъ* сопротивленія въ направленіи перпендикулярномъ.

Только самые твердые камни разрушаются вдругъ безъ всякихъ предварительныхъ явленій: всѣ другіе сначала даютъ трещины при грузахъ меньшихъ нежели тѣ, которые соотвѣтствуютъ крайней ихъ крѣпкости. Отношенія этихъ грузовъ къ крайней крѣпости бываютъ очень различны: отъ одной половины при слабыхъ и до единицы для крѣпкихъ камней. Камни большею частью разрушаются *скалываніемъ*. (§ 157).

Опыты для изслѣдованія крѣпкости камней производились почти всегда надъ образцами, которымъ давалась форма куба. Желательно было бы, чтобы опытамъ подвергались параллелепипеды, высотою покрайней мѣрѣ въ полтора раза противъ діаметра основанія; потому что данныя получаемыя при опытахъ надъ кубами приводятъ къ цифрамъ, превосходящимъ нѣсколько истинную крѣпкость матеріаловъ.

Если предполагается построить какое нибудь важное сооруженіе, то лучше не полагаться на тѣ свѣдѣнія, которыя можно найти въ книгахъ объ крѣпкости камней, но произвести непосредственные опыты, употребляя для этаго гидравлическій прессъ. Что касается до способа, какъ производить опыты и какъ вычислять результаты, то должно руководствоваться сказаннымъ въ § 144.

Коэфицентъ благонадежности для камней въ строеніяхъ должно принимать не менѣе *восьми*, чтобъ имѣть запасъ на случай разностей въ сопротивленіи матеріала, или на случай перемѣны въ дѣйствующихъ давленіяхъ. Во многихъ существующихъ строеніяхъ онъ меньше восьми, но они слишкомъ смѣло построены.

216. Испытаніе прочности камней. Признаки, по которымъ можно судить объ прочности описаны при разсматриваніи породъ камней; но они часто обманчивы.

Одно изъ средствъ для сужденія объ сравнительной прочности камней одинаковой породы есть опредѣленіе вѣса камня, поглощающаго единицу вѣса воды; чѣмъ меньше воды поглощаетъ камень, тѣмъ онъ прочнѣе. Отъ 80 до 700 частей гранита и глинистаго сланца, поглощаютъ одну

часть воды, около 40 частей гнейса и отъ 30 до 60 частей хорошаго песчанику поглощаютъ тоже одну часть воды.

Другое средство для опредѣленія вѣроятной сравнительной прочности камней изобрѣтено Г. Браромъ: оно состоитъ въ подражаніи разрушающему дѣйствію мороза кристаллизованіемъ сѣрнокислаго натра и взвѣшиваніемъ кусковъ, отдѣляющихся въ извѣстное время отъ штуки данной величины и поверхности (Annales de chimie et de Physique. Vol. 38).

Единственное вѣрное средство узнать прочность камня состоитъ въ наблюденіи надъ постройками, сдѣланными изъ этаго камня, въ особенности надъ старыми строеніями.

Примѣръ рѣзкой разности въ прочности камней одной породы, мало отличающихся между собою на видъ, представляютъ строенія въ Оксфордѣ: Соборная Церковь Христа, построенная въ XII или XIII вѣкѣ изъ икрянаго камня, добытаго въ разстояніи 15 миль отъ города, сохранилась до сихъ поръ въ очень хорошемъ состояніи, тогда какъ признаки разрушенія видны на многихъ колегіяхъ, существующихъ не болѣе 200 или 300 лѣтъ и построенныхъ тоже изъ икрянаго камня, взятаго въ окрестностяхъ города.

217. Предохраненіе камней. Разныя средства, которыя употреблялись и предлагались для предохраненія камней, по природѣ непрочныхъ, всѣ состоятъ въ наполненіи скважинъ камня на поверхности его и около нея какимъ нибудь веществомъ, не пропускающимъ воздуха и сырости. Поверхность камня должна быть приготовлена для принятія этаго вещества освобожденіемъ ея совершенно или почти совершенно отъ сырости; и это легко сдѣлать при помощи переносной печи, нагрѣваемой углемъ или коксомъ.

Главные предохраняющіе матеріалы суть слѣдующіе:

Смолистыя вещества, какъ напримѣръ смола древесная или каменноугольная, очень дѣйствительны; но цвѣтъ ея производитъ непріятное впечатлѣніе на глазъ. Впрочемъ кажется возможно приготовить безцвѣтное или свѣтлаго цвѣта смолистое вещество для предохраненія камней разложеніемъ парафина въ скипидарѣ или другимъ процессомъ.

Высыхающія масла, какъ напримѣръ льняное чистое или въ красильномъ составѣ предохраняетъ камень нѣкоторое время; но они разрушаются кислородомъ воздуха и потому требуютъ возобновленія по временамъ, и притомъ портятъ наружный видъ камня.

Кремнекислое кали или жидкое стекло употребляется въ видѣ водяннаго раствора одно или смѣшанное съ кремнеземомъ въ видѣ порошка. Оно постепенно твердѣетъ частью отъ испаренія воды, частью отъ выдѣленія кали углекислотою воздуха.

Кремнекислая известь производится наполненіемъ скважинъ камня растворомъ кремнекислаго кали, и введеніемъ раствора хлористаго кальція или азотнокислой извести. При соединеніи этихъ двухъ веществъ образуется искуственный камень, кремнекислая известь, смѣшанная съ хлористымъ каліемъ или азотнокислымъ кали, которыя будучи растворимы водою вымываются ею.

Дѣйствительность этихъ двухъ средствъ и разныхъ ихъ видоизмѣненій сильно оспоривается: только время и опытъ могутъ выказать ихъ достоинство.

218. Разширѣніе камней отъ тепла. Линейное разширѣніе нѣкоторыхъ камней по опытамъ Г. Эди при возвышеніи температуры отъ 0° до 80° Р. есть слѣдующее.

Гранита отъ 0.0008 до 0.0009, Мрамора отъ 0.00065 до 0.0011. Песчаника отъ 0.0009 до 0.0012, Сланца 0.00104.

ОТДѢЛЪ II. О КИРПИЧѢ И ДРУГИХЪ ИСКУСТВЕННЫХЪ КАМНЯХЪ.

219. Глина для кирпича. Разные роды глины, которыхъ очень много, суть химическія соединенія кремнекислаго глинозема съ кремнекислыми кали, натромъ, известью, магнезіей, желѣзомъ или марганцемъ. Сложныя глины по составу похожи на полевой шпатъ и нѣкоторыя изъ нихъ могутъ быть разсматриваема какъ виды полеваго шпыта. Механическое соединеніе глины и песку называется *суглинкомъ* (loam), соединеніе глины и углекислой извести есть *мергель* или *рухлякъ*. Другія вещества которыя бываютъ иногда примѣшаны къ глинѣ суть: окись желѣза, сѣрнокислое желѣзо, смола и пр.

Каждый родъ глины имѣетъ свойство, въ натуральномъ своемъ состояніи, соединяться съ водою и образовать тѣсто.

Освобожденіе глины отъ воды нагрѣваніемъ ея до очень высокой температуры производится очень медленно и сопровождается уменьшеніемъ въ объемѣ и отвердѣніемъ глины: неизвѣстно при какой степени жара происходитъ со-

вершенное отдѣленіе воды; изъ произведенныхъ до сихъ поръ наблюденій кажется, что при какой бы высокой температурѣ глина ни была *обожжена*, какъ это называютъ, при новомъ возвышеніи температуры она продолжаетъ сжиматься и уменьшаться въ вѣсѣ. Обожженная глина, при измѣненіи температуры въ предѣлахъ, низшихъ того, при которомъ она была обожжена, разширяется и сжимается, подобно другимъ твердымъ тѣламъ.

Послѣ обжиганія въ довольно сильномъ жару, глина становится тверда и теряетъ совсѣмъ или почти совсѣмъ свойство соединяться съ водою.

Размягченіе глины потомъ и возвращеніе свойства соединяться съ водою зависитъ отъ ея состава и отъ химическихъ дѣятелей, которымъ она подвергается.

Присутствіе щелочей въ глинѣ и дѣйствіе на нихъ кислотъ производитъ размягченіе глины, которое идетъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ ниже была температура обожженія.

Простыя кремнекислыя земли или соединенія кремнезема съ какою нибудь другою землею трудноплавки и выдерживаютъ самый сильный жаръ печей: примѣръ этому представляетъ кремнекислая магнезія или жировикъ (§ 212). Двойныя или болѣе сложныя кремнекислыя соединенія легче плавятся, особенно, если одно изъ этихъ соединеній имѣетъ основаніемъ кали, натръ или известь. Согласно съ этимъ общимъ правиломъ, *огнеупорныя глины*, выдерживающія самый сильный жаръ обыкновенныхъ печей, суть чистые кремнекислые глиноземы; и такія только глины годны для приготовленія огнеупорныхъ кирпичей и ретортъ, а также для смазокъ или растворовъ употребляемыхъ въ печахъ.

Форфоровая глина или *каолинъ* состоитъ изъ однаго пая глинозема и двухъ паевъ кремнезема; въ естественномъ состояніи она содержитъ еще два пая воды, которая вся можетъ быть выдѣлена обжиганіемъ въ бѣлокалильномъ огнѣ. Ее находятъ близъ гранитныхъ скалъ, гдѣ она происходитъ отъ постепеннаго разложенія полеваго шпата углекислотою и сыростью воздуха, которыя поглощаютъ кали и девять паевъ кремнезема. Цвѣтъ ея бѣлый или молочный.

Стоурбриджская огнеупорная глина состоитъ изъ однаго пая глинозема и шести паевъ кремнезема съ двумя паями воды, которая почти вся отдѣляется въ бѣлокалильномъ жару, и съ небольшимъ количествомъ окиси желѣза.

Эта и другія огнеупорныя глины встрѣчаются преимущественно въ каменноугольныхъ формаціяхъ: онѣ бываютъ цвѣтовъ бѣлаго, свѣтлосѣраго и желтосѣраго, окрашивающее вещество есть окись желѣза.

Обыкновенныя глины плавятся легче форфоровой или огнеупорной потому что содержатъ кремнекислыя соли извести, магнезіи и закиси желѣза; приготовленные изъ нихъ кирпичи, если совершенно обожжены, бываютъ нѣсколько ошлакованы. Изъ этихъ примѣсей послѣдняя дѣлаетъ глину удобною для приготовленія кирпичей, потому что сообщаетъ имъ крѣпкость и твердость: присутствіе ея узнается по темному сѣровато голубому цвѣту глины, который обращается въ красный у поверхности кирпичей при ихъ обжиганіи.

Кремнекислая известь, если находится въ глинѣ въ нѣсколько значительномъ количествѣ, дѣлаетъ ее очень плавкою, кирпичи въ печи размягчаются отъ жара и коробятся.

Углекислая известь, примѣшанная къ глинѣ въ значительномъ количествѣ, что узнается по вскипанію при налитіи кислоты, теряетъ въ сильномъ огнѣ углекислоту: оставшаяся въ кирпичѣ живая известь притягиваетъ сырость изъ воздуха и бываетъ причиною разрушенія кирпича. Глину, содержащую эту примѣсь, не слѣдуетъ употреблять на выдѣлку кирпичей.

Примѣсь песку къ глинѣ полезна тѣмъ, что уменьшаетъ сжиманіе кирпичей въ огнѣ: избытокъ песку дѣлаетъ ихъ хрупкими. Одна часть песку на четыре или пять частей глины по объему есть лучшая пропорція.

220. Приготовленіе кирпича; его достоинства. Для приготовленія кирпича глину, очищенную отъ камней, *смачиваютъ* и *мнутъ*, то есть, соединивъ съ половиннымъ по объему количествомъ воды, раздавливаютъ въ куски, переворачиваютъ и мѣшаютъ до тѣхъ поръ, пока она обратится въ совершенно однородное тѣсто: достоинство кирпича во многомъ зависитъ отъ того, какъ была перемята глина. Мятье можетъ быть произведено глиномятною машиною: это бочка или отвѣсный цилиндръ внутри его вертится отвѣсный валъ съ выступающими ножами, которые имѣютъ нѣсколько наклонное положеніе; ножи эти перемѣшиваютъ глину и подвигаютъ ее мало помалу къ отверстію внизу бочки, сквозь которое она по немногу выходитъ.

Изъ мокрой глины, хорошо вымятой и перемѣшанной, формуются кирпичи въ станкахъ, которые дѣлаются на 1—10ю или 1—12ю въ каждомъ измѣреніи болѣе того, каковъ долженъ быть кирпичь, потому что онъ при обжиганіи сжимается обыкновенно на это количество.

Обыкновенные кирпичи имѣютъ форму прямоугольныхъ параллелепипедовъ 6 вершковъ длины, 3 вершка ширины и $1^1/_2$ вершка высоты или въ дюймахъ $10^1/_2$, $5^1/_4$ и $2^5/_8$; но для особеннаго употребленія кирпичамъ даютъ другія формы. Для приготовленія кирпичей изобрѣтено много машинъ.

Послѣ сушки на вольномъ воздухѣ или въ сушильнѣ при температурѣ 8^0—17^0 Р., кирпичи обжигаются въ печахъ, въ которыхъ температура возвышается постепенно въ теченіи первыхъ сутокъ до бѣлокалильнаго жара, поддерживаемаго до тѣхъ поръ, пока кирпичи достаточно обожгутся; потомъ имъ даютъ остыть по немногу. Время нужное на обжиганіе и охлажденіе кирпича бываетъ различно, нерѣдко оно продолжается пятнадцать дней.

По даннымъ, которыя есть въ запискѣ Г. Симмса, приготовленіе кирпича требуетъ слѣдующихъ рабочихъ силъ: трехъ мастеровыхъ и двухъ мальчиковъ для приготовленія 16,000 кирпичей въ недѣлю или на 1000 кирпичей нужно 1.12 рабочихъ дня мастероваго и 0.75 дня мальчика.

Топлива нужно на 1000 кирпичей отъ 15 до 19 пудовъ каменнаго угля или отъ 1—7й до 1—6й кубической сажени еловыхъ дровъ.

Достоинства хорошаго кирпича суть:

Правильность формы, плоскія грани, пересѣкающіяся подъ прямыми углами, острыя прямыя ребра.

Чистый звукъ при ударѣ.

Сложеніе, узнаваемое по излому, плотное, однородное, твердое, нѣсколько стекловатое, безъ пустотъ и трещинъ.

Поглощеніе воды въ количествѣ неболѣе одной пятнадцатой своего вѣса.

Имѣющій эти достоинства кирпичь, поставленный *на ребро*, долженъ подъ гидравлическимъ прессомъ требовать для раздробленія силы въ 30 пудовъ покрайней мѣрѣ на квадратный дюймъ, какъ показано въ таблицѣ при предъидущей главѣ для крѣпкаго краснаго кирпича; очень часто онъ можетъ выдержать болѣе. Небольшой столбъ сложен-

ный изъ кирпичей на растворѣ долженъ уступать только силѣ 22 до 28 пудовъ на квадратный дюймъ.

Вообще въ кирпичѣ появляются первыя признаки разрушенія, какъ напримѣръ трещины, при нагрузкѣ вдвое меньшей противъ раздробляющей силы.

Слабыми кирпичами должно считать тѣ, которыхъ крѣпкость составляетъ половину или двѣ трети указанной выше.

Для строеній большой важности надобно старательно выбирать кирпичи, и отбрасывать негодные.

Разширѣніе кирпича при возвышеніи температуры отъ 0^0 до 80^0 Р. есть по опытамъ Эди для краснаго кирпича 0.00355, для огнеупорнаго 0.0005.

221. Прессовой кирпичь дѣлается такъ: глину сушатъ, растираютъ въ мелкій порошокъ, кладутъ въ формы, подвергаютъ давленію около 310 пудовъ на квадратный дюймъ и обжигаютъ въ постоянныхъ печахъ, устроенныхъ для гончарныхъ издѣлій: онъ почти въ полтора раза тяжелѣе обыкновеннаго и гораздо крѣпче его; при обжиганіи мало уменьшается въ объемѣ.

222. Другіе искуственные камни. Искуственный песчаникъ, близко подходящій къ естественному по виду, крѣпкости и прочности, приготовляется изъ мелкаго чистаго песку съ кремнекислымъ кали или кремнекислою известью.

Родъ искуственнаго известняка былъ приготовленъ изъ мѣловаго илу рѣки Тезы въ желѣзныхъ формахъ и сжатъ ударами пароваго молота.

Объ приготовленіи и употребленіи раствора будетъ говорено въ слѣдующемъ отдѣлѣ.

ОТДѢЛЪ III. СЛѢПЛЯЮЩІЕ МАТЕРІАЛЫ.

223. Химическій составъ известняковъ. Слѣпляющіе матеріалы, употребляемые при каменныхъ работахъ, получаются обыкновенно и въ большомъ количествѣ изъ камней, содержащихъ углекислую известь въ соединеніи или въ смѣшеніи съ другими минералами. Вотъ обыкновенныя ихъ составныя части съ означеніемъ ихъ химическихъ паевъ. (§ 209).

Углекислая известь (Углекислота 22, Известь 28.5) = 50.5
Углекислая магнезія (Углекислота 22, Магнезія 20.7) = 42.7

Кремнеземъ	= 15.5
Глиноземъ	= 51.4
Закись желѣза (Желѣзо 28, Кислородъ 8) . . .	= 36
Окись желѣза (Желѣзо 2 × 28, Кислородъ 3 × 8)	= 80
Вода (Водородъ 1, Кислородъ 8)	= 9

Въ этомъ сочиненіи не умѣстно было бы входить въ подробности химическихъ процессовъ, но мы считаемъ полезнымъ изложить здѣсь способъ, какъ опредѣлить въ известковомъ камнѣ пропорціональныя количества тѣхъ его составныхъ частей, которыя имѣютъ практическую важность.

I. Свѣсьте тщательно кусочекъ камня, прокалите его въ тиглѣ и свѣсьте опять: потеря вѣса соотвѣтствуетъ количеству *воды* и *углекислоты*, которые были въ этомъ кускѣ. Если кусокъ былъ до прокаливанія высушенъ при температурѣ немного низшей краснаго калѣнія, при которой только и возможно выдѣленіе углекислоты, то потеря вѣса послѣ прокаливанія показываетъ количество одной углекислоты, потому что количество воды, оставшейся послѣ просушки такъ ничтожно, что имъ можно пренебречь.

II. Возьмите другой кусокъ величиною отъ половины до цѣлаго золотника; свѣсьте его, разотрите въ мелчайшій порошокъ, смѣшайте съ тройнымъ по вѣсу количествомъ ѣдкаго кали или натра, нагрѣйте смѣсь до красна въ серебряномъ тиглѣ и растворите ее въ слаборазведеной соляной кислотѣ; быстрота растворенія можетъ быть усилена нагрѣваніемъ кислоты почти до температуры кипящей воды. Выпарите растворъ, перемѣшивая его постоянно и особенно тщательно къ концу процесса, когда будетъ образовываться густое тѣсто; это будетъ означать, что кремнеземъ выдѣлился; смѣшайте тѣсто съ восьмернымъ или десятернымъ по объему количествомъ кипящей воды: она растворитъ всѣ вещества, кромѣ кремнезема. Профилтруйте растворъ, промывая осадокъ тщательно водою: промывныя воды и полученную при фильтрированіи воду надобно сохранить, а осадокъ высушить и прокалить; вѣсъ его покажетъ количество *кремнезема*, бывшаго въ кускѣ камня.

III. Къ промывной водѣ прилейте жидкаго аміаку въ избыткѣ для того, чтобы осадить глиноземъ, желѣзную окись и часть магнезіи; для выдѣленія остальнаго количества магнезіи надобно приливать известковую воду по

немногу по мѣрѣ образованія осадка. Всѣ осадки надобно промыть и прокалить; къ вѣсу этихъ осадковъ надобно прибавить вѣсъ кремнезема, найденный по II правилу, и вѣсъ углекислоты, найденный по I; если эту сумму высчесть изъ вѣса куска камня, то остатокъ будетъ вѣсъ *извести.*

IV. Изъ общаго количества углекислоты, найденнаго по правилу I и перечисленнаго на вѣсъ втораго куска камня, надобно вычесть вѣсъ извести, найденный по правилу III, умноживъ его сперва на 22 и раздѣливъ на 28.5; остатокъ будетъ показывать то количество углекислоты, которое было соединено съ магнезіей; умноживъ остатокъ этотъ на 20.7 и раздѣливъ его на 22, получимъ количество *магнезіи,* которое было соединено съ угольною кислотою.

V. Вычтите выводы IV процесса изъ вывода III процесса, получите количество *глинозема, окиси желѣза* и того количества *магнезіи,* которое было въ соединеніи съ кремнеземомъ, если въ камнѣ была кремнекислая магнезія, но вовсѣхъ до сихъ поръ изслѣдованныхъ известнякахъ магнезію всегда находили въ соединеніи только съ углекислотою. Для настоящей цѣли нѣтъ надобности отдѣлять глиноземъ отъ окиси желѣза, хотя это легко сдѣлать посредствомъ ѣдкаго кали, которое растворяетъ глиноземъ и осаждаетъ желѣзо?

Главный выводъ подобнаго химическаго изслѣдованія известковыхъ камней есть опредѣленіе отношенія углекислыхъ ихъ частей къ кремнекислымъ. Количество углекислыхъ соединеній можно узнать приблизительно умноживъ общее количество углекислоты, полученное по правилу I, на 2.3 когда въ камнѣ нѣтъ магнезіи и на 2.12, когда на каждый пай углескислой извести въ камнѣ есть пай углекислой магнезіи: истинное количество углекислыхъ соединеній будетъ всегда заключатся между этими предѣлами. Остальная за тѣмъ часть камня состоитъ вся или почти вся изъ кремнекислыхъ соединеній.

Вещества получаемыя при обжиганіи или прокаливаніи известковыхъ и цементныхъ камней могутъ быть причислены къ одному изъ слѣдующихъ четырехъ родовъ.

I. *Чистая* или *жирная известь* получается изъ камней мало или вовсе не содержащихъ кремнезема: она гасится при поглощеніи сырости, въ соединеніисъ водою образуетъ мѣсто,

которое мало помалу твердѣетъ на воздухѣ, въ водѣ же вовсе не твердѣетъ.

II. *Гидравлическая известь* получается изъ камней, содержащихъ умѣренное количество кремнекислыхъ солей (отъ 10 до 30%), она гасится медленнѣе нежели жирная известь, и тѣсто ея твердѣетъ медленно подъ водою. Извести этаго рода переходятъ постепенно въ

III. *Цементы*, которые получаются изъ камней, содержащихъ отъ 40 до 60% кремнекислыхъ соединеній: они не гасятся, и быстро твердѣютъ подъ водою.

IV. *Цемянки* или *пуццоланы*, содержащія кремнеземъ въ избыткѣ; ихъ примѣшиваютъ къ чистымъ известямъ для образованія цементовъ.

224. Чистая или **жирная известь** получается обжиганіемъ въ краснокалильномъ или даже и высшемъ жару такихъ камней, которые какъ мраморъ или мѣлъ состоятъ изъ одной только или почти одной углекислой извести. Камни теряютъ при обжиганіи около 44% своего вѣса; остатокъ 56% есть известь, которой около одной осьмой части обыкновенно теряется.

Обжиганіе извести производится въ печахъ двоякаго рода. Обыкновенная известеобжигательная печь въ планѣ кругла, въ продольномъ отвѣсномъ разрѣзѣ овальна, діаметръ шахты, вверху печи, составляетъ около 6—10хъ діаметра ея въ распарѣ или въ самой широкой ея части; высота рѣдко бываетъ болѣе 10 или 12 футъ, часто даже меньше: печь наполняютъ слоями известковаго камня и топлива поперемѣнно. Обжиганіе продолжается отъ 30 до 50 часовъ; когда оно кончено, тогда печь опаражниваютъ, выгребая изъ нея известъ. Другой родъ печей имѣетъ цилиндрическую или почти цилиндрическую форму, съ отвѣсною осью: камень нагружается непрерывно сверху, спускается внизъ, обжигается огнемъ изъ горна, помѣщеннаго съ боку печи, и падаетъ на дно ея, откуда постепенно выгребается.

При обжиганіи извести издерживается угля отъ 1—5й до 1—6й противъ вѣса извести.

Одинъ кубическій футъ мѣлу вѣситъ въ плотномъ тѣлѣ около $2^1/_2$ пудовъ, въ кускахъ около $1^3/_4$ пуда; обожженная изъ него известь вѣситъ въ кускахъ менѣе пуда.

Если жирную живую известь смочить водою то она *гасится* или химически соединяется съ водою: на одинъ

пай извести или 28.5 частей ея по вѣсу идетъ одинъ пай воды или 9 ея частей; полученное соединеніе есть *гашеная известь*, *пушенка* или говоря химически *водная окись кальція*.

Во время гашенія известь увеличивается въ объемѣ, нагрѣвается и разпадается въ порошокъ. Тотже процессъ производится медленно на воздухѣ, изъ котораго живая известь вытягиваетъ сырость; но для употребленія въ постройкахъ недолжно допускать такого естественнаго гашенія извести влажностью воздуха, потому что она кромѣ воды получаетъ изъ воздуха углекислоту и обращается частью опять въ углекислую известь. Для того чтобы уберечь отъ этаго обозженную известь надобно сохранять ее въ боченкахъ или въ сухихъ сараяхъ, изъ которыхъ брать ее передъ самымъ употребленіемъ въ дѣло и быстро гасить водою. Отвердѣніе гашеной извести происходитъ отъ постепеннаго поглощенія ею углекислоты изъ воздуха и отъ кристаллизованія образующейся при этомъ углекислой извести: это процессъ очень медленный, но онъ черезъ нѣсколько лѣтъ даетъ очень твердый матеріалъ.

225. Гидравлическія извести получаются отъ обжиганія известняковъ, которые содержатъ кремнекислый глиноземъ и иногда углекислую магнезію и которые вообще плотны, имѣютъ сѣрый, голубой или желто-бурый цвѣтъ. Кромѣ указаннаго въ § 223 химическаго способа узнать составныя части камня, можно сдѣлать для непосредственнаго опредѣленія гидравлическаго свойства извести, которая изъ него получится, слѣдующій опытъ.

Прокалите два или три кубическихъ дюйма камня въ тиглѣ; разтолките въ порошокъ полученную известь, сдѣлайте изъ нее въ соединеніи съ водою густое тѣсто, изъ котораго скатайте шарикъ и опустите его въ стаканъ съ водою. Если это *гидровлическая известь*, то черезъ сутки или полторы шарикъ отвердѣетъ и будетъ сопротивляться давленію пальца, быстрота отвердѣнія будетъ зависить отъ состава камня: если этотъ составъ хорошъ, то по прошествіи мѣсяца тѣсто достигнетъ твердости мягкаго известняка. Если это *цементъ*, то онъ въ нѣсколько минутъ достигнетъ такой твердости, что будетъ сопротивляться давленію пальца.

Лучшія гидравлическія извести такъ дурно гасятся, что ихъ надобно въ сухомъ состояніи обращать въ поро-

шокъ на мельницѣ, которая состоитъ изъ двухъ стоячихъ жернововъ или бѣгуновъ на горизонтальной оси, проходящей сквозь стоячій валъ: валъ этотъ приводится во вращательное движеніе, при чемъ жернова катятся по лежню, разбиваютъ куски извести ирастираютъ ихъ въ порошокъ. Гидравлическую известь надобно сохранять тщательно въ мѣшкахъ или боченкахъ и въ сукихъ сараяхъ отъ вліянія воздуха и сырости до тѣхъ поръ, пока она понадобится въ дѣло.

Эта известь есть смѣсь живой извести съ кремнекислымъ глиноземомъ и желѣзомъ и иногда съ магнезіей. Отвердѣніе ея подъ водою есть результатъ образованія искуственнаго камня, состоящаго изъ соединенія кремнекислыхъ солей извести, глинозема и другихъ основаній.

По сравненію съ цементомъ кажется что въ гидравлической извести есть избытокъ извести сверхъ того количества, которое можетъ соединиться съ кремнеземомъ и глиноземомъ.

226. Естественный цементъ получается обжиганіемъ камней, въ которыхъ углекислая известь и кремнекислыя соли находятся въ такой пропорціи, что по выдѣленіи углекислоты остается такое именно количество извести, какое можетъ образовать съ кремнеземомъ и глиноземомъ твердое соединеніе. Изъ опытовъ Вика́ и Генерала Песлея надъ составленіемъ искуственныхъ цементовъ можно кажется заключить, что лучшая смѣсь для составленія цемента должна состоять до обжиганія изъ двухъ паевъ углекислой извести (50.5×2) и одного пая глины, имѣющей вѣроятно такой составъ: одинъ пай глинозема (51.4) и шесть паевъ кремнезема (15.5×6); такъ что на 100 частей должны быть: 41 часть углекислой извести и 59 частей глины. Быстрота отвердѣнія цемента подъ водою зависитъ отъ степени близости количества составныхъ частей камня къ указанной пропорціи.

Цементные камни встрѣчаются тонкими пластами между гидравлическихъ известняковъ: цвѣтъ ихъ обыкновенно бурый, сложеніе плотное и изломъ землистый. Послѣ обжиганія ихъ растираютъ въ порошокъ и сохраняютъ въ въ сухомъ мѣстѣ въ бочкахъ, до употребленія въ дѣло.

Въ этомъ видѣ цементъ есть *смѣсь* живой извести съ кремнекислымъ глиноземомъ: но когда его соединятъ съ водою и сдѣлаютъ изъ него тѣсто, то начинается хими-

ческій процессъ образованія двойной кремнекислой соли глинозема и извести, которой составъ въ лучшихъ цементахъ есть, какъ кажется, слѣдующій: два пая извести (28.5×2), одинъ пай глинозема (51.4) и шесть паевъ кремнезема (15.5×6). Эта двойная соль кремнезема образуетъ плотный искуственный камень.

227. **Искуственный цементъ** приготовляется тѣмъ, что берутъ толченый мѣлъ или гашеную чистую известь, и голубую глину въ той пропорціи какая назначена въ предъидущемъ параграфѣ, тщательно смѣшиваютъ ихъ между собою съ прибавленіемъ воды для образованія тѣста, изъ котораго дѣлаютъ шарики отъ 2 до 3 дюймовъ въ діаметрѣ: эти шарики сушатъ, прокаливаютъ и растираютъ въ порошокъ. Цементъ этотъ не уступаетъ естественнымъ цементамъ, если даже не лучше ихъ.

228. **Пуццоланы** или **цемянки** суть смѣси похожія на цементы, но содержащія избытокъ кремнекислыхъ солей и недостатокъ извести, такъ что ихъ надобно смѣшивать съ чистою известью для того, чтобы получать цементъ или гидравлическую известь, смотря по пропорціи.

Лучшая цемянка есть рудниковая пыль (mine-dust), это вѣроятно кремнекислая закись желѣза. Если примѣшать ее къ извести въ такомъ количествѣ, что растворъ будетъ имѣть голубовато-сѣрый цвѣтъ, то получается цементъ чрезвычайно твердый и вязкій, вѣроятно двойная кремнекислая соль извести и закиси желѣза.

Обыкновенно берутъ одну часть по объему пыли на двѣ части гидравлической извести, обмѣренной въ сухомъ состояніи; но лучше опредѣлить пропорцію опытомъ.

Цемянку можно приготовить растирая въ порошокъ кирпичи или нарочно обожженную глину, годную на кирпичи, короче всякимъ процесомъ, которымъ можно получить въ сухомъ порошкѣ кремнекислый глиноземъ или составъ изъ кремнекислаго глинозема и окиси желѣза.

229. **Растворъ обыкновенный и гидравлическій.** Растворъ составляется смѣшеніемъ извести и песку съ водою такъ, чтобы образовать полужидкое тѣсто, употребленное какъ слѣпляющій матеріалъ въ каменныхъ и кирпичныхъ кладкахъ.

Обыкновенный растворъ, приготовляемый изъ чистой извести, твердѣетъ на воздухѣ отъ испаренія воды и отъ поглощенія углекислоты изъ воздуха, при чѣмъ образуются

кристаллы углекислой извести. Если вода испаряется слишкомъ скоро, то растворъ разсыпается порошкомъ; а когда вовсе нѣтъ испаренія, то растворъ всегда остается мягкимъ. Очень медленное испареніе воды способствуетъ наилучшему отверденію раствора.

Гидравлическій растворъ, дѣлаемый изъ гидравлической извести, твердѣетъ частью отъ образованія и кристаллизаціи углекислой извести, частью же и преимущественно отъ образованія и кристаллизаціи, какъ сказано прежде, сложныхъ кремнекислыхъ солей извести, глинозема и другихъ основаніи (§ 225).

Обыкновенный растворъ можетъ быть обращенъ въ гидравлическій, примѣшиваніемъ къ нему цемянки (§ 228).

Песокъ долженъ быть чистый, угловатый и скорѣе крупный, нежели мелкій. Чтобы очистить песокъ, смѣшанный съ глиною, подобно промыть его водою, которая будетъ растворять глину и уносить ее съ собою при стеканіи. Лучшій песокъ получается раздробленіемъ мягкимъ песчаниковъ.

Морской песокъ должно промыть прѣсною водою, не то соли которыя въ немъ заключаются будутъ поддерживать въ растворѣ постоянную сырость.

Какъ въ гидравлическомъ, какъ и въ обыкновенномъ растворѣ, песокъ остается механическою примѣсью, такъ что отвердѣвшій растворъ становится нѣкотораго рода искуственнымъ песчаникомъ, въ которомъ зерна песку связаны цементомъ изъ углекислой или кремлекислой извести и другихъ кремнистыхъ соединеній. Причины прибавленія песку къ извести суть слѣдующія:

Для уменьшенія издержекъ уменьшеніемъ объема извести, который нуженъ на запомненіе швовъ каменной кладки; а известь дороже песку.

Для того чтобы увеличить сопротивленіе раствора раздавливанію.

Для того чтобы уменьшить сжатіе раствора при высыханіи и его растрескиваніе.

Но въ то же время примѣсь песку уменьшаетъ вязкость раствора; и если его много, то растворъ будетъ хрупокъ и разсынется въ порошокъ.

Пропорція песку, которую известь можетъ принять, не образуя хрупкого раствора, бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ известь жирнѣе, и тѣмъ менѣе, чѣмъ сильнѣе гидравлическое

свойство извести. Лучшія пропорціи песку по опытамъ Вика суть слѣдующія: 2.4 объема песку на 1. объемъ чистой гашеной извести въ тѣстѣ, и 1.8 песку на 1. часть хорошей гидравлической извести въ видѣ тѣста. Извести среднихъ свойствъ принимаютъ среднія количества песку.

Когда песокъ и цемянка вмѣстѣ примѣшиваются къ чистой извести для составленія гидравлическаго раствора, то общій ихъ объемъ долженъ быть отъ 2 до $2^1/_2$ разъ больше объема извести до гашенія.

Но для опредѣленія точной пропорціи извести и песку должно произвести опытъ.

Для перемѣшиванія раствора нужно ококо 9.53 рабочихъ дней на кубическую сажень. На известковой мельницѣ съ двумя лошадьми перемѣшивается въ день отъ 1.5 до 2 кубическихъ саженей раствора.

Такъ какъ гидравлическій растворъ имѣетъ стремленіе твердѣть даже и въ сыромъ состояніи, то его должно приготовлять только передъ самымъ употребленіемъ.

230. Бетонъ. Воздушный бетонъ (concrete) есть смѣсь обыкновеннаго известковаго раствора съ гравіемъ или щебнемъ въ такой пропорціи, что объемъ песку, гравія и щебня почти въ шесть разъ болѣе извести.

Его можно приготовлять ручною работою или на мельницѣ.

Гидравлическій бетонъ есть смѣсь неправильныхъ кусковъ камней, діаметромъ отъ $1^1/_2$ до 2 дюймовъ, съ гидравлическимъ растворомъ въ такой пропорціи, что раствору нѣсколько болѣе того, сколько нужно для наполненія промежутковъ между камнями; эта пропорція должна быть опредѣляема каждый разъ опытомъ; она измѣняется отъ 1 до 2 объемовъ камня на 1 объемъ извести.

Бетонъ, когда только что приготовленъ, занимаетъ объемъ отъ двухъ третей до трехъ четвертей общаго объема матеріаловъ до смѣшиванія; положенный на мѣсто и утрамбованный онъ садится на одну шестую, такъ что окончательный объемъ бетона въ плотномъ тѣлѣ составляетъ отъ $^5/_9$ до $^5/_8$ объема смѣшиваемыхъ матеріаловъ.

Если для составленія бетона можно достать только округленные камешки, то ихъ надобно разбивать, чтобы имѣть угловатые камни.

231. Цементъ, который долженъ сохнуть и садиться подъ вліяніемъ атмосфернаго воздуха, напримѣръ въ швахъ

облицовки строеній, надобно смѣшивать съ пескомъ для того, чтобы предъупредить неравномѣрное высыханіе, а слѣдовательно сжатіе и растрескиваніе. Пропорція измѣняется отъ 1 до 2 объемовъ песку на одинъ объемъ цемента. Примѣсь песку уменьшаетъ вязкость цемента; если составныя части взяты поровну, то вязкость уменьшается на одну четверть. Если цементъ не подверженъ дѣйствію воздуха, то прибавленіе къ нему песку представляетъ только ту выгоду, что уменьшаетъ его стоимость; тамъ гдѣ нужна большая вязкость, должно употреблять чистый цементъ.

232. Крѣпкость раствора, цемента и бетона. Къ тѣмъ даннымъ объ крѣпкости строительныхъ матеріаловъ, которыя помѣщены въ концѣ предъидущей главы, можно прибавить слѣдующія цыфры.

Сопротивленіе раздавливанію на квадратный дюймъ въ пудахъ.

Чрезъ полтора года послѣ приготовленія.

Растворъ изъ извести и рѣчнаго песку	12.18
утрамбованный	16.61
Растворъ изъ извести и погребнаго песку	16.06
утрамбованный	22.15
Гидравлическій растворъ изъ извести съ растертой черепицей	18.83
утрамбованый	25.75
Бетонъ изъ раствора и битыхъ кремней	11.63

Черезъ *шестнадцать лѣтъ* послѣ приготовленія крѣпкость увеличивается въ обыкновенномъ растворѣ на 1—8ю, въ гидривлическомъ на 1—4ю.

Данныя эти основаны на показаніяхъ Ронделе.

Вязкость или сопротивленіе разрыву на квадратный дюймъ въ пудахъ.

Чрезъ годъ послѣ приготовленія.

Хорошая гидравлическая известь	4.71
Обыкновенная гидравлическая известь отъ	3.88
до.	2.77
Жирная известь	1.11

Хорошій гидравлическая растворъ	3.88
Обыкновенный гидравлическій растворъ	2.35
Хорошій обыкновенный растворъ	1.38
Дурной обыкновенный растворъ	0.55

(На основаніи показаній Вика).

Чрезъ шесть мѣсяцевъ послѣ приготовленія.

Прилипаніе обыкновеннаго раствора къ плотнымъ известнякамъ	0.41
Прилипаніе обыкновеннаго раствора къ кирпичу	0.91

(По указаніямъ Ронделе).

Цементъ изъ меловой извести и голубой глины черезъ нѣсколько дней послѣ приготовленія по свидѣтельству Песлея	3.46
Портлендскій цементъ изъ плотнаго известняка и глины черезъ 30 или 50 дней послѣ приготовленія отъ	33.23
до	42.82

233. Гипсъ или **алебастръ.** Гипсъ есть соединеніе сѣрнокислой извести и воды въ слѣдующихъ пропорціяхъ: одинъ пай сѣрной кислоты (сѣра 16, кислородъ 3×8), одинъ пай извести (28.5) и два пая воды (2×9).

Его находятъ пластами въ разныхъ видахъ: кристалическомъ, листоватомъ, зернистомъ и землистомъ. Онъ полупрозраченъ, обыкновенно бѣлаго или сѣраго цвѣта, блескъ имѣетъ перламутровый, легко чертится ножомъ, по твердости заключается между каменною солью и известковымъ шпатомъ.

При прокаливаніи гипса изъ него выдѣляется вода и остается послѣ того бѣлый порошокъ сухой сѣрнокислой извести, извѣстной подъ именемъ *алебастра* (plaster of Paris). Если этотъ порошокъ быстро смѣшать съ водою, такъ чтобъ получить тѣсто, то тотчасъ же начинается химическое соединеніе съ водою и образуется опять гипсъ въ плотномъ зернистомъ видѣ; при этомъ отдѣляется теплота, которая способствуетъ скорѣйшему испаренію излишней воды. Смѣшеніе должно дѣлать всыпаніемъ алебастра въ воду, а не наливаніемъ воды на алебастръ; количество воды зависитъ отъ употребленія, какое будетъ сдѣлано изъ раствора: среднимъ числомъ нужно одинъ объемъ воды на одинъ объемъ алебастра.

Вязкость гипсоваго раствора, когда онъ высохъ, есть по Ронделе около 1.94 пуда на квадратный дюймъ.

234. Смолистые цементы и бетоны суть смѣси веществъ смолистыхъ и землистыхъ.

Такъ *асфальтовая мастика* состоитъ изъ минеральной смолы получаемой изъ смолянаго сланца или песчаника, и порошка смолистаго известняка или *асфальта:* это углекислый известнякъ пропитанный смолою, количество которой бываетъ отъ 3 до 15 на сто.

Асфальтъ можно разбить на мелкіе куски или растереть въ порошокъ и въ этомъ видѣ сыпать въ смолу, нагрѣтую въ желѣзномъ котлѣ; составъ надобно тщательно размѣшивать во время приготовленія. Пропорціи составныхъ частей бываютъ различны; при малосмолистомъ известнякѣ нужно больше смолы; среднимъ числомъ можно положить одну часть смолы на 7 или 8 частей асфальта.

Искуственный асфальтъ можно составить замѣняя горную смолу каменноугольной или древесной, и примѣшивая къ ней разтертый известнякъ до тѣхъ поръ, пока смѣсь получитъ требуемую степень густоты.

Для заливки швовъ въ трубахъ, по которымъ протекаютъ сильныя кислоты, дурно дѣйствующія на известняки, оказалась очень хороша мастика изъ каменноугольной смолы и мелко растертой огнеупорной глины: пропорція въ которой должно смѣшать эти два вещества не опредѣлена и ее надобно находить опытомъ доводя смѣсь до того, чтобы когда она холодна, то уступала бы давленію ногтя, но не болѣе.

Смолистый или *асфальтовый растворъ* дѣлается изъ вышеописанной смѣси горной смолы съ измелченнымъ асфальтомъ; къ ней прибавляется около одной тридцать пятой ея объема дегтярнаго масла и около трехъ пятыхъ песку.

Одинадцать объемовъ этаго раствора и девять объемовъ битаго щебня составляютъ родъ *смолистаго бетона,* годнаго на одежду дорогъ; объ этомъ будетъ говорено въ статьѣ о дорогахъ.

ОТДѢЛЪ IV. ПРОСТЫЕ ФУНДАМЕНТЫ.

235. Опредѣленіе и классификація простыхъ фундаментовъ. Фундаментъ каменнаго строенія состоитъ во первыхъ изъ сдѣланной въ землѣ выемки, во вторыхъ изъ

постройки, возводимой если нужно на днѣ этой выемки и могущей служить основаніемъ или базою строенія. Въ этомъ отдѣлѣ говорено будетъ объ тѣхъ фундаментахъ, для которыхъ нужна только простая выемка или выемка, частью наполненная пескомъ, камнемъ или бетономъ; устройство сложныхъ фундаментовъ, требующихъ особенныхъ работъ, изложено будетъ въ особой главѣ.

Простые фундаменты можно раздѣлить на три класса:

I. *Фундаменты на скалѣ* или на такомъ грунтѣ, котораго устойчивость не измѣняется отъ насыщенія его водою.

II. *Фундаменты на материкѣ* каковы песокъ, гравій, твердая глина.

III. *Фундаменты на слабомъ грунтѣ.*

Нижняя плоскость всякаго фундамента должна возможно менѣе отклоняться отъ направленія, перпендикулярнаго къ направленію дѣйствующаго на него давленія, а площадь фундамента должна быть такова чтобы грунтъ выдерживалъ безопасно это давленіе. Площадь эта можетъ быть доведена до требуемой величины тѣмъ, что нижніе ряды каменной или кирпичной кладки выступаютъ за лице строенія образуя ступени; можно положить для достиженія тойже цѣли на дно выемки довольно широкій слой бетона, или сдѣлать обратныя своды подъ отверстіями или пустотами строенія, или употребить другія средства. *Центръ сопротивленія* фундамента какой нибудь части каменнаго строенія или та его точка, чрезъ которую проходитъ равнодѣйствующая давленій недолжна отклоняться отъ центра тяжести площади фундамента далѣе извѣстнаго предѣла, назначаемаго особо для каждаго частнаго случая.

236. Фундаменты на скалѣ. Для приготовленія скалы къ принятію каменнаго строенія надобно произвести слѣдующія работы.

I. Снять слабые и испорченные слои камня.

II. Обтесать скалу подъ плоскую поверхность или рядомъ плоскостей, образующихъ ступени и совершенно или почти перпендикулярныхъ къ направленію дѣйствующаго давленія.

III. Наполнить если нужно пустоты скалы бетономъ или бутомъ.

IV. Иногда хорошо для разпредѣленія давленія на большую площадь, покрыть скалистое дно выемки слоемъ

бетона, котораго толщина въ разныхъ случаяхъ бываетъ отъ нѣсколькихъ дюймовъ до шести футъ и даже болѣе.

Единичная величина давленія на скалистое основаніе нигдѣ не должна превосходить одной осьмой того давленія, которое можетъ раздробить грунтъ. (§ 215). Вотъ примѣры единичныхъ величинъ давленія на скалистое основаніе въ нѣкоторыхъ существующихъ зданіяхъ въ пудахъ на квадратный дюймъ.

Средняя величина давленія при грунтѣ, котораго крѣпкость не менѣе крѣпкости лучшаго краснаго кирпича	3.88
Давленіе у фундамента трубы Сенъ Роллоксъ, вышишою 450 футъ на слой бетона толщиною 6 футъ	1.27
На грунтъ, состоящій изъ песчаника, который разсыпается въ рукахъ	0.78

Послѣдній примѣръ даетъ величину давленія безопасно выдерживаемаго самымъ мягкимъ изъ веществъ, которымъ можно дать названіе *камня* или самымъ слабымъ изъ скалистыхъ грунтовъ.

При назначеніи предѣла до котораго можетъ доходить отклоненіе центра давленія отъ центра тяжести фигуры основанія должно руководствоваться тѣмъ правиломъ, что *ни въ одной точкѣ основанія не должно быть натянутости* или отрицательнаго давленія. Назовемъ h діаметръ фигуры основанія проходящей чрезъ центры тяжести и давленія, $m'h$ разстояніе отъ центра тяжести до того края основанія, который болѣе удаленъ отъ центра давленія и гдѣ давленіе наименьшее.

δ удаленіе центра давленія отъ центра тяжести.

P полное давленіе, A площадь основанія, $p_0 = P:A$ среднее давленіе.

Рядъ точекъ основанія гдѣ давленіе равно средней его величинѣ p_0 есть *неутральная ось* основанія. Въ точкѣ основанія удаленной отъ этой оси на разстояніе y, давленіе есть $p_0 \pm ay$ на единицу площади; y считается положительнымъ въ ту сторону, гдѣ находится центръ давленія. Наименьшая единичная величина давленія у края основанія не должна быть отрицательною и по тому

$$p_0 - a\,m'\,h > 0 \ldots\ldots (1.)$$

откуда $$a > \frac{p_0}{m' h} \ldots\ldots (2.)$$

Давленія $p_0 \pm ay$ въ разныхъ точкахъ основанія можно разсматривать какъ состоящія изъ двухъ силъ: первыя p_0 вездѣ одинакія даютъ равнодѣйствующую P, которая проходитъ чрезъ центръ тяжести; другія $\pm ay$ дѣйствуютъ по разныя стороны оси въ разныхъ направленіяхъ, но не имѣютъ равнодѣйствующей и потому образуютъ пару, которой моментъ есть $M = aI$. Такая пара переноситъ, согласно сказанному въ ст. V § 97, точку приложенія равнодѣйствующей на разстояніе равное отношенію момента M къ силѣ P или

$$\delta = \frac{aI}{P} < \frac{p_0 I}{P m' h} = \frac{I}{A m' h} \ldots\ldots (3.)$$

Таблица при § 179 содержитъ разныя значенія величины q, отношенія I къ $A m' h^2$, и потому отклоненіе центра давленія отъ центра тяжести имѣетъ предѣлъ выражаемый неравенствомъ

$$\delta < q h \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Выводъ этотъ основанъ на произвольномъ предположеніи что давленіе на основаніе имѣетъ равномѣрно измѣняющееся напряженіе.

237. Теорія Фундаментовъ на землѣ. Когда можно расчитывать только на треніе, какъ на силу, которая удержитъ землю отъ перемѣщенія подъ грузомъ строенія, тогда вѣсъ замѣняемой строеніемъ земли долженъ имѣть къ вѣсу строенія отношеніе не менѣе опредѣляемаго слѣдующими уравненіями, въ которыхъ x есть глубина фундамента, w вѣсъ кубическаго фута земли, φ уголъ ея покоя.

1й *Случай.* Грузъ строенія разпредѣленъ равномѣрно, и p_0 есть единичная его величина. Отвѣсное давленіе земли на глубинѣ x, есть wx; сопряженное съ нимъ горизонтальное напряженіе по уравненію (3) § 183 не можетъ быть болѣе

$$p = w x \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

А при такомъ горизонтальномъ напряженіи единичная величина груза сооруженія, на томъ же основаніи, не должна выходитъ изъ предѣла, даваемаго неравенствомъ

$$p_0 < p\,\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = w\,x\,\left\{\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right\}^2$$

или
$$\frac{w\,x}{p_c} \geqq \left\{\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}\right\}^2 \ldots\ldots (1.)$$

2й *Случай.* Если грузъ строенія такъ разпредѣленъ, что въ основаніи дѣйствуетъ равномѣрно измѣняющееся давленіе, котораго средняя величина есть p_0, наибольшая p_1 и наименьшая p_2.

Наибольшая единичная величина давленія p_1 должна удовлетворять уравненію (1.)

$$\frac{w\,x}{p_1} \geqq \left\{\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}\right\}^2 \ldots\ldots (2.)$$

а наименьшая p_2 должна быть не менѣе давленія земли или

$$\frac{w\,x}{p_2} \leqq 1. \ldots\ldots (3.)$$

откуда выводится слѣдующее ограниченіе для предѣловъ величины напряженія въ основаніи

$$\frac{p_1}{p_2} \leqq \left\{\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right\}^2 \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Такъ какъ наименьшая единичная величина давленія есть p_2, то вмѣсто неравенства (1.) § 236 имѣемъ уравненіе

$$p_0 - a\,m'\,h = p_2$$

откуда
$$a = \frac{p_0 - p_2}{m'\,h}$$

и слѣдовательно отклоненіе центра давленія отъ центра тяжести основанія не должно превосходить количества

$$\delta = \frac{p_0 - p_2}{p_0}\,q\,h \ldots\ldots (5.)$$

Если фигура основанія симметрична относительно неутральной его оси, какъ это обыкновенно бываетъ, то

$$p_0 = \frac{p_1 + p_2}{2}$$

и слѣдовательно $\frac{w\,x}{p_0} \geq \frac{(1-\sin\varphi)^2}{1+\sin^2\varphi} = 1 - \frac{2\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi}$ . . (6.)

$$\delta = q\,h\,\frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2} = q\,h\,\frac{2\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi} \quad . \; . \; . \; (7.)$$

Слѣдующая таблица даетъ величины входящихъ въ это уравненія функцій при разныхъ углахъ покоя.

φ	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0	40^0	45^0
$\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$	1.700	2.145	2.464	3.000	3.690	4.599	5.826
$\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$	0.588	0.466	0.406	0.333	0.271	0.217	0.172
$\left(\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right)$	2.890	4.472	6.070	9.000	13.619	21.152	33.940
$\left(\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}\right)^2$	0.346	0.224	0.165	0.111	0.073	0.047	0.0295
$\frac{1+\sin^2\varphi}{(1-\sin\varphi)^2}$	1.945	2.736	3.535	5.000	7.310	11.076	17.47
$\frac{(1-\sin\varphi)^2}{1+\sin^2\varphi}$	0.514	0.421	0.283	0.200	0.137	0.090	0.057
$\frac{2\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi}$	0.486	0.579	0.717	0.800	0.863	0.910	0.943

238. Фундаменты на материкѣ. Когда нужно выводить фундаментъ на твердой глинѣ, чистомъ сухомъ гравіѣ или чистомъ угловатомъ пескѣ т. е. на грунтахъ, которые обладаютъ сильной устойчивостью тренія, не измѣняющеюся отъ насыщенія грунта водою, тогда рѣдко нужно бываетъ держаться правилъ данныхъ въ предъидущемъ параграфѣ; потому что глубина, на которую нужно опуститься для того, чтобы защитить основаніе отъ разрушительнаго дѣйствія морозовъ, обыкновенно болѣе той, которая опредѣляется по этимъ правиламъ. Глубина эта въ разныхъ странахъ бываетъ разная, отъ 3 до 6 футъ.

Надобно принимать мѣры для того, чтобы предъупредить притокъ воды съ поверхности земли къ фундаменту, для этого могутъ служить отводныя канавы, какъ при выемкахъ (§ 189); если нужно, то можно будетъ положить водотяжныя трубы у основанія.

Наибольшая единичная величина давленія наоснованіе въ твердой землѣ бываетъ отъ 0.47 до 0.64 пуда на квадратный дюймъ.

При уширеніи основанія обыкновенныхъ каменныхъ стѣнъ ступенями принято за правило дѣлать его на плотномъ гравіѣ въ полтора раза противъ толщины стѣны, а на пескѣ и глинѣ вдвое.

239. Фундаменты на слабомъ грунтѣ. Тутъ нужно дѣлать глубину фундамента не менѣе той, которая дается формулами § 237, по соображенію съ вѣсомъ строенія; отклоненіе центра давленія отъ центра тяжести фигуры основанія должно быть въ предѣлахъ, данныхъ тѣми же правилами. Требуемой цѣли достигаютъ уширеніямъ основанія при чемъ уменьшается единичная величина давленія, и увеличивается отношеніе ширины основанія къ величинѣ отклоненія центра давленія отъ центра тяжести.

Надобно всегда стараться, если можно, осушить грунтъ для того, чтобы придать ему большую твердость, прежде вырытія ямы для фундамента.

Точно также какъ при возведеніи насыпи на мягкомъ грунтѣ (§ 204) надобно прорыть кюветъ и наполнить его неразмываемымъ матеріаломъ, каковъ песокъ или бетонъ для того, чтобы разпредѣлить давленіе на большую площадь и передать ее возможно низшему пласту слабаго грунта. Чтобы найти глубину кювета назовемъ

p_1 наибольшую единичную величину давленія предполагаемаго строенія въ пудахъ на квадратный футъ. При опредѣленіи этой величины за площадь основанія принимаеться площадь нижняго ряда камней, если подъ строеніемъ будетъ положенъ песокъ, а если бетонъ, то площадь залитая бетономъ, если только край основанія слоя бетона выступаетъ за край каменной кладки не болѣе какъ на толщину слоя бетона.

Назовемъ w вѣсъ въ пудахъ кубическаго фута матеріала, которымъ предполагается наполнить выемку: въ случаѣ песка это будетъ 2.49; а при бетонѣ 3.6; w' вѣсъ кубическаю фута грунта, φ' его уголъ покоя, x' глубину

фундамента и наконецъ назовемъ буквою k' величину отношенія $1 - \sin\varphi'$ къ $1 + \sin\varphi'$, которое дано въ таблицѣ при § 237 для разныхъ угловъ покоя. Тогда, подобно § 204 ст. III,

$$x' = \frac{p_1 k'^2}{w' - w k'^2} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

Матеріалъ, которымъ наполняютъ выемку, должно класть слоями толщиною около однаго фута и уколачивать. Бетонъ вмѣсто уколачиванія можно бросать съ высоты по крайней мѣрѣ десяти футъ, устроивши для этаго подмости.

Когда выемка наполнена пескомъ, то на немъ можно возводить постройку какъ на естественномъ песчаномъ грунтѣ. При употребленіи бетона постройку можно начать только тогда, когда онъ принялъ окончательную осадку, и надобно такъ разпредѣлить давленіе, чтобъ оно нигдѣ не превышало осьмой части сопротивленія бетона раздавливанію т. е. не болѣе 14 пуд. $87 : 8 = 1.86$ пуда на квадратный дюймъ.

Въ строеніяхъ содержащихъ отверстія каковы арки, окна, двери равномѣрное разпредѣленіе груза на фундаментъ можетъ быть сдѣлано устройствомъ обратныхъ сводовъ подъ отверстіями, надобно только, чтобъ эти своды были тщательно выведены.

Объ болѣе сложныхъ фундаментахъ на слабомъ грунтѣ, требующихъ употребленія дерева или желѣза говорено будетъ въ особой статьѣ.

Когда развѣдочные колодцы или буровыя скважины показываютъ, что подъ твердымъ слоемъ земли, лежитъ пластъ слабаго грунта, то по уравненію (1.) надобно повѣрить достаточно ли толщина x' твердаго слоя для выдержанія строенія. Когда этотъ твердый слой есть плотный камень, то единичная величина давленія p_1 на слабый грунтъ зависящая отъ вѣса сооруженія можетъ быть расчитана по тому же правилу, какъ для слоя бетона. Ошибка въ выводѣ будетъ въ сторону выгодную.

ОТДѢЛЪ V. ПРОИЗВОДСТВО КАМЕННОЙ КЛАДКИ.

240. Общія правила, которыя должно наблюдать при производствѣ всякой каменной кладки, суть слѣдующія:

I. Возводить каменное строеніе рядами, имѣющими совершенно или почти перпендикулярное направленіе къ тому давленію, которому они подвергаются, и избѣгать въ строеніи длинныхъ швовъ параллельныхъ этому давленію, располагая швы въ перевязку.

II. Большіе камни должны быть въ нижней части строенія.

III. Камни, имѣющіе листоватое сложеніе или слоистое, должно класть такъ, чтобы направленіе слоевъ было перпендикулярно къ дѣйствующему давленію. Такая кладка камней на ихъ *естественную постель*, указанная уже прежде, есть одно изъ условій крѣпкости и прочности строенія.

IV. Поверхность сухихъ и скважистыхъ камней надобно смачивать прежде положенія на мѣсто для того, чтобы растворъ не слишкомъ скоро высыхалъ и не обращался въ порошокъ при вытягиваніи изъ него сырости камнемъ.

V. Пространство между камнями должно быть возможно менѣе и все наполнено растворомъ.

Раздѣленіе каменныхъ кладокъ на роды основано совершенно на величинѣ и фигурѣ камней, также на томъ какъ образованы и выполнены швы, какъ упостелей такъ и у боковъ; наружный же видъ каменной кладки не составляетъ большой важности.

241. Роды каменныхъ кладокъ. *Лицомъ* камня называется та его сторона, которая совпадаетъ съ наружною поверхностью стѣны. *Постелями* называются стороны камня параллельныя направленію рядовъ. *Боками* или *заусенками* называются грани камня имѣющія поперечное направленіе относительно лица и постелей. *Швами* называются поверхности, отдѣляющія одинъ камень отъ другого.

Главные инструменты употребляемые при обдѣлкѣ камней суть: *тесовикъ*, молотъ оканчивающійся четырехграннымъ остріемъ, *кіура* имѣющая плоское остріе; разныя *долота*, по которымъ бьютъ *кулаками*, долота бываютъ остроконечныя и съ плоскими остріями шириною отъ однаго до трехъ дюймовъ.

Кіурой сбиваются главныя неровности камня и получается грубое приближеніе къ плоскости; остріемъ тесовика проводятся по поверхности камня борозды или рубцы, которыхъ дно принадлежитъ уже настоящей плоскости; гребешки между рубцами сбиваются кіурою или долотомъ.

Есть много родовъ каменной кладки, начиная съ тесовой, при которой камень имѣетъ совершенно правильную фигуру, ограниченную геометрическими поверхностями, которыми онъ прилегаетъ плотно къ окружающимъ камнямъ, до грубаго бута, на который камни идутъ почти въ томъ видѣ, въ какомъ добываются изъ каменоломни, только слишкомъ большія возвышенія и неправильности сбиваются съ нихъ.

Въ строительномъ отношеніи каменныя кладки можно раздѣлить на четыре главные рода: тесовая кладка изъ крупныхъ и мелкихъ камней, правильная бутовая рядами и неправильная бутовая кладка.

242. Тесовая кладка изъ крупныхъ камней (Ashlar masonry) состоитъ изъ камней, имѣющихъ правильный геометрическій видъ, обыкновенно прямоугольныхъ параллелепипедовъ, положенныхъ рядами не менѣе однаго фута толщины.

Чтобы камни не могли ломаться поперегъ, они должны имѣть длину не болѣе утроенной толщины если принадлежатъ къ мягкимъ породамъ, каковы слабые песчаники или зернистыя известняки; длина камней твердыхъ породъ можетъ превосходить ихъ толщину въ четыре или пять разъ. Ширина камней мягкой породы можетъ быть отъ полутора до двухъ разъ болѣе толщины ихъ, а твердой породы до трехъ разъ.

Какъ постели, такъ и заусенки имѣютъ плоскія поверхности за исключеніемъ особенныхъ случаевъ, объ которыхъ будетъ говорено послѣ и въ которыхъ они имѣютъ кривыя, но правильныя поверхности. Въ случаѣ плоской поверхности на камнѣ вытесываются долотомъ по краямъ его, а при большой площади и по срединѣ, дорожки, которыхъ дно должно быть въ той плоскости, подъ которую нужно обтесать камень; остальныя части поверхности камня сбиваются подъ одну плоскость съ дорожками, которыя служатъ направляющими. Тутъ нужна особенная точность при обтескѣ тѣхъ граней, которыя будутъ служить постелями; если какая нибудь часть поверхности камня выступаетъ за плоскость дорожекъ, то эта часть будетъ выдерживать большее давленіе нежели другія, камни не будутъ плотно прилегать другъ къ другу и образуютъ *открытый шовъ* (open joint), не имѣющій достаточной устойчивости. Съ другой стороны если постель имѣетъ впадину, потому что вытесана глубже дорожекъ, то давленіе сосредоточится на краяхъ камня,

которые могутъ отколываться, шовъ будетъ тогда *пустой* (flushed). Такой шовъ труднѣе замѣтить, нежели открытый, послѣ окончанія кладки; иногда дѣлаютъ впадину въ постели съ тою цѣлью, чтобы кладка снаружи имѣла лучшій видъ т. е. чтобы швы казались тоньше; за этимъ надобно тщательно смотрѣть во время обтески камней.

Когда камень такъ обтесанъ что всѣ проведенныя на немъ борозды находятся въ одной плоскости, то давленіе разпредѣляется равномѣрно, и нѣтъ никакой надобности стесывать гребешки между рубцами, напротивъ того лучше ихъ оставить, потому что они увеличиваютъ треніе камней и способствуютъ прилипанію раствора.

Каждый камень надобно приладить къ мѣсту сухимъ для того, что бы видѣть хорошо ли онъ обтесанъ и исправить неправильности, прежде нежели подлитъ растворъ. Ни одинъ боковой шовъ или заусенокъ не долженъ приходится надъ швомъ нижняго ряда, а долженъ заходить за него на цѣлую или на полторы толщины камня: это называется расположеніемъ въ *перевязку* (bond). Такая перевязка дѣлается съ тою цѣлью, чтобы камень каждаго ряда былъ поддержанъ двумя камнями нижняго и самъ поддерживалъ покрайней мѣрѣ два камня высшаго ряда. При такомъ расположеніи вопервыхъ давленіе лучше распредѣляется: неровности въ грузѣ поддерживаемомъ кладкою и неровности сопротивленія грунта распространяются на большую площадь и уравнивниваются; во вторыхъ строеніе получаетъ большую связь какъ вдоль такъ и поперегъ отъ тренія камней въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ они заходятъ одинъ на другой.

Камень, положенный длиною своею паралельно лицу стѣны называется *логомъ* (stretcher); лежащій длиною перпендикулярно къ длинѣ стѣны есть *тычекъ* (header). Логовые камни даютъ кладкѣ продольную, тычки поперечную связь. Лучшая перевязка въ тесовой кладкѣ есть та, когда въ каждомъ ряду по лицу стѣны камни лежатъ попеременно логомъ и тычкомъ и лицевой конецъ каждаго тычка лежитъ на срединѣ лога нижняго ряда такъ, что почти одна треть лицевой поверхности стѣны занята тычками. Особенныя обстоятельства могутъ заставить отступить отъ этаго расположнія, но всегда надобно стараться что бы тычки занимали ни какъ не менѣе четверти поверхности лица каменной кладки.

Угловые камни (quoins), которые должны быть большихъ размѣровъ и выбираются съ большою тщательностью, суть логовые и тычковые вмѣстѣ: по одному лицу стѣны такой камень лежитъ длиною а по другому лицу шириною.

Толщина раствора въ швахъ хорошей тесовой кладки должна быть не болѣе восьмой доли дюйма. *Объемъ раствора*, нужнаго для этой кладки, составляетъ около восьмой доли объема камней.

Крупная тесовая кладка употребительна въ быкахъ, устояхъ, аркахъ и парапетахъ мостовъ, въ гидротехническихъ сооруженіяхъ какъ будетъ говорено потомъ; для облицовки, угловъ, прокладокъ и цѣпей при другихъ каменныхъ, а также и кирпичныхъ кладкахъ; вообще крупная тесовая кладка даетъ строенію большую крѣпкость и устойчивость.

Какъ бы лицо каменной кладки ни было отдѣлано, хотя бы лицевыя грани камней оставались въ томъ неправильномъ видѣ, въ какомъ онѣ получались при выломкѣ камня, по краямъ лицевой грани каждаго камня должны быть непремѣнно протесаны дорожки, составляющія прямые углы или острыя правильныя ребра съ плоскостями постелей и заусенковъ для того что бы камни можно было хорошо укладывать на мѣста.

243. Мелкая тесовая кладка (Block in course) отличается отъ прежде описанной размѣрами камней, которыхъ толицина бываетъ отъ 7 до 9 дюймовъ.

Правила перевязки швовъ и относительные размѣры камней наблюдаются здѣсь какъ и въ крупной тесовой кладкѣ; тутъ также покрайней мѣрѣ четвертая часть лица стѣны должна состоять изъ камней лежащихъ тычкомъ и имѣющихъ длину отъ 3 до 5 разъ большую противъ ихъ толщины.

Мелкая тесовая кладка употребляется въ надарочныхъ частяхъ, въ откосныхъ крыльяхъ мостовъ, для облицовки поддерживающихъ стѣнъ и въ другихъ подобныхъ случаяхъ.

244. Бутовая кладка рядами (Course rubble masonry) состоитъ изъ горизонтальныхъ рядовъ, которыхъ толщина рѣдко превосходитъ одинъ футъ; горизонтальность каждаго ряда должна быть провѣрена прежде положенія слѣдующаго ряда; боковыя грани камней могутъ быть и не перпендикулярны къ постелямъ.

По крайней мѣрѣ четвертая часть лица каждаго ряда должна состоять изъ тычковъ; каждый тычекъ долженъ имѣть

толщину равную толщинѣ ряда, ширину отъ полутора до двухъ разъ, а длину отъ трехъ до пяти разъ болѣе толщины, какъ въ тесовой кладкѣ. Эти тычки должны быть грубо обтесаны и должны имѣть плоскія постели; не слѣдуетъ класть тычковъ однаго ряда надъ тычками другаго, иначе будетъ недостатокъ связи въ другихъ частяхъ кладки. Между тычками каждаго ряда можно класть камни меньшихъ размѣровъ такіе напримѣръ, которыхъ пришлось бы два или три на толщину однаго тычка. Ихъ иногда на грубо обтесываютъ и даютъ имъ боковыя отвѣсныя грани; иногда же вовсе не обдѣлываютъ и тогда боковыя грани неправильны, но онѣ никогда не должны составлять съ постелями угловъ немышихъ 60°. Надобно стараться класть камни на естественную ихъ постель и дѣлать эту постель всегда больше другихъ граней, чтобы не класть камней на ребро или попомъ. Какъ бы малы ни были камни, надобно располагать швы ихъ въ перевязку: пустоты между большими камнями надобно наполнять мелкими кусками, заколачиваемыми въ растворъ.

За кладкою бута рядами надобно тщательно смотрѣть: изложенныя выше правила должны непремѣнно соблюдаться, внутри кладки не должно быть пустотъ или мѣстъ наполненныхъ только растворомъ, мелкимъ щебнемъ не должно наполнять такія мѣста, куда могутъ быть положны крупные камни, камни должно класть на естественную ихъ постель, наконецъ тычки должны быть дѣйствительно большіе камни, перпендикулярные къ лицу стѣны, а не лещадки поставленные на ребро по лицу стѣны.

Кубическая сажень бутовой кладки требуетъ, считая потери, $1^1/_5$ кубической сажени камня и $^1/_5$ кубической сажени раствора.

Крѣпкость бутовой кладки при раздавливаніи составляетъ четыре пятыхъ крѣпкости камней, изъ которыхъ она сдѣлана.

Бутовая кладка рядами употребляется для поддерживающихъ стѣнъ и откосныхъ крыльевъ мостовъ, когда не нужно такой крѣпкости какую имѣютъ тесовыя кладки; также бутовую кладку употребляютъ для внутренней части строеній, облицеванныхъ тесаными камнями крупными или мелкими, для каменныхъ оградъ и т. д.

Въ бутовой кладкѣ *неправильными рядами* (random courses), каждый рядъ камней имѣетъ плоскія постели, но не вездѣ одинакую толщину.

245. Обыкновенная бутовая кладка (Common Rubble) отличается отъ прежде описанной тѣмъ, что выводится не рядами, но съ соблюденіемъ тѣхъ же прочихъ правилъ. Крѣпкость такой бутовой кладки не многимъ болѣе крѣпкости раствора, на которомъ она положена, по этому нельзя ея употреблять тамъ гдѣ дѣйствуютъ большія давленія иначе какъ на крѣпкомъ гидравлическомъ растворѣ. Наибольшее примѣненіе этой кладки встрѣчается при устройствѣ оградъ.

246. Тесовая кладка съ забуткою. Тесаные камни составляющіе лицо кладки должны быть обтесаны чисто по постелямъ и заусенкамъ на разстояніи отъ лица равномъ одной или двумъ толщинамъ камня; остальныя же части постелей могуть остаться грубо обтесанными для того чтобы камень имѣлъ вездѣ одинакую толщину, съ заусенковъ же и хвоста можно его вовсе не обтесывать; хвостами тычковъ облицовка связывается съ забуткою.

Когда бутовая кладка выводится рядами какъ описано въ § 244 тогда ряды ея должны соотвѣтствовать рядамъ облицовки и выводиться въ одно съ нею время.

При составленіи смѣты на возведеніе такой кладки можно площадь лица смѣны умножить на глубину чистой тески камней, это будетъ объемъ тесовой кладки, остальной же объемъ строенія надобно считать за бутъ.

Такое соединеніе каменныхъ кладокъ, тесовой облицовки съ забуткою, очень употребительно въ строеніяхъ и даже очень хорошо въ механическомъ смыслѣ для такихъ сооруженій, въ которыхъ давленіе къ лицу стѣны возростаетъ, какъ напримѣръ въ поддерживающихъ стѣнахъ.

Для устоевъ мостовъ такія кладки негодны въ механическомъ отношеніи потому что въ этихъ строеніяхъ давленіе сильнѣе дѣйствуетъ на заднюю нежели на лицевую ихъ часть: но если давленіе въ устоѣ таково, что бутовая кладка можетъ его выдержать, то можно вывести его изъ бута, облицовавъ его тесаннымъ крупнымъ или мелкимъ камнемъ какъ для того, чтобы дать строенію лучшій видъ, такъ и для того, чтобы защитить его внутренность отъ дѣйствія атмосферныхъ перемѣнъ.

Кладка бутовая рядами имѣемъ иногда углы изъ тесаныхъ камней.

247. Прокладки и карнизы. *Прокладку* (string course) составляетъ рядъ большихъ тесаныхъ камней иногда выступающихъ за лицо строенія. Кромѣ изящнаго вида, ко-

торый такія прокладки даютъ строенію, онѣ назначаются для равномѣрнаго разпредѣленія груза на лежащіе ниже ихъ камни: если напримѣръ надсводная часть моста или откосное крыло, сложенныя изъ мелкихъ тесанныхъ камней или рядовъ бута, должны поддерживать тяжелый парапетъ изъ крупныхъ тесаныхъ камней, то нужно положить сперва рядъ крупныхъ камней, который передалъ бы грузъ парапета мелкимъ камнямъ.

Карнизъ (cope) стѣны состоитъ изъ широкихъ тяжелыхъ камней, выступающихъ нѣсколько за оба лица стѣны, плотно положеныхъ на стѣну и связанныхъ гидравлическимъ растворомъ или цементомъ. Онъ кладется для того, чтобы защитить растворъ внутри стѣны отъ вліянія погоды, и чтобы нажимая сильно мелкіе камни, изъ которыхъ сложена стѣна, не позволять имъ вываливаться. Камнямъ составляющимъ карнизъ должна быть дана такая форма, чтобы вода легко съ нихъ сливалась.

При употребленіи на карнизъ нетесаныхъ камней отступаютъ отъ общаго правила, по которому камни листоватаго сложенія кладутся листами параллельно постели: тутъ ихъ ставятъ на ребро перпендикулярно къ направленію стѣны, такъ что края листовъ съ верху и съ боковъ подвержены дѣйствію воздуха.

Камнямъ составляющимъ карнизъ придается устойчивость тѣмъ, что ихъ связываютъ между собою, тогда ни однаго изъ нихъ нельзя снять съ мѣста не трогая близь лежащихъ камней. Соединеніе это дѣлается желѣзными *скобами* которыхъ концы вкладываются въ гнѣзда, сдѣланныя въ камняхъ, и заливаются въ нихъ свинцомъ, или что еще лучше *шипами* изъ камней твердой породы каковы діоритъ или гранитъ. Такой шипъ есть цилиндрическій или призматическій кусокъ камня, вкладываемый въ просверленныя одна противъ другой дыры двухъ сосѣднихъ камней; въ дырахъ этихъ шипъ укрѣпляется цементомъ или гидравлическимъ растворомъ.

Употребляютъ иногда желѣзные или чугунные шипы или *пироны:* они крѣпче камменныхъ, но менѣе прочны; мѣдные пироны, соединяющіе прочность съ крѣпкостью, очень дороги.

Скобы, шипы и пироны могутъ быть употреблены въ прокладкахъ и вообще во всѣхъ частяхъ каменныхъ строеній.

Каменныя ограды покрываются иногда вмѣсто карниза дерномъ или глиняною смазкою (§ 206).

248. Замазка швовъ (pointing) каменной кладки дѣлается для того, чтобы предъупредить прониканіе воздуха и воды внутрь кладки. Изъ швовъ по лицу стѣны вынимается растворъ долотомъ на два или три дюйма въ глубину и замѣняется цементомъ или гидравлическимъ растворомъ.

Въ морскихъ стѣнахъ цементъ положенный такимъ образомъ можетъ быть выбитъ ударами волнъ и потому при постройкѣ ихъ лучше употреблять при самой кладкѣ цементъ на пространствѣ двухъ или трехъ дюймовъ отъ лица стѣны.

249. Сухая каменная кладка производится по правиламъ изложеннымъ въ § 244 и 245 съ тою только разницею, что въ ней не употребляется раствора. Стѣну построенную на сухо иногда хорошо бываетъ покрыть не проницаемымъ для воды карнизомъ для того, чтобы вода, проникшая внутрь кладки, разширяясь при замерзаніи, не выдвигала камней съ ихъ мѣстъ. Такой карнизъ можетъ состоять изъ камней поставленныхъ на ребро и связанныхъ цементомъ; изъ смолистаго бетона (§ 234) или наконецъ изъ глиняной смазки (§ 206).

Если стѣна не времянная а постоянная, то на нее нельзя употребить круглыхъ булыгъ въ ихъ естественномъ видѣ, а надобно раскалываніемъ на куски дать имъ угловатую поверхность.

Изъ сухой каменной кладки дѣлаются ограды, и инода рабутки за поддерживающими стѣнами, какъ для тою, чтобы уменьшить давленіе на нихъ земли, такъ и для того чтобы быть свободный стокъ водѣ сквозь промежутки между камнями.

Кладка эта употребительна также для поддерживающихъ стѣнъ малой высоты и для одежды земляныхъ откосовъ, подверженныхъ дѣйствію воды (§ 196 и 205); въ послѣднемъ случаѣ постели рядовъ должны быть перпендикулярны къ линіи наибольшаго уклона землянаго откоса.

250. Уроки каменныхъ работъ. Назначенныя здѣсь количества рабочихъ силъ, потребныхъ при производствѣ каменныхъ кладокъ, основаны преимущественно на показаніяхъ Готея.

На одну кубическую сажень камня

	Число рабочихъ дней.
Нагрузка камня въ телѣжки	0.736
Перевозка на одинъ переѣздъ около 14 сажень по горизонтальному направленію. При перевозкѣ вверхъ каждую сажень подъема должно считать за шесть горизонтальныхъ саженей	0.552
Опорожниваніе телѣжекъ	0.368

Относительно приготовленія раствора см. § 229, а отношеніе количества раствора къ количеству камня въ §§ отъ 242 до 245.

Родъ кладки.	Число рабочихъ дней на кубическую сажень.			
	Выломка камня.	Обтеска.	Кладка.	черная работа.
Сухая	8.13		12.70	6.35
Бутовая рядами	8.13		11.43	11.43
Мелкая тесовая	11.43	19.05	11.43	11.43
Мелкая тесовая въ сводахъ	11.43	28.25	11.43	11.43
отъ	22.87	31.73	12.70	12.70
Крупная тесовая до	31.73	73.63	25.41	25.41

Обдѣлка лицевыхъ граней мягкаго песчаника на квадратный футъ.

Грубою теской 0.05; чистою тескою 0.07; полировкою 0.10.

На выломку и обтеску твердыхъ камней нужно рабочихъ силъ: при твердомъ песчаникѣ въ два раза, при твердомъ известнякѣ, мраморѣ или гранитѣ въ три или четыре раза болѣе нежели при мягкомъ песчаникѣ.

При обтескѣ кривой поверхности количество работы увеличивается противъ работы на обтеску плоской поверхности, на количество этой работы умноженной на $2^1/_2$ и раздѣленной на радіусъ кривизны въ футахъ.

Разломка старой каменной кладки требуетъ 6.35 рабочихъ дней на кубическую сажень.

251. Перемѣщеніе камней, столь тяжелыхъ, что ихъ нельзя поднимать руками производится разными способами, изъ которыхъ главнѣйшіе суть слѣдующіе.

I. Камень берется клещами или храпомъ, котораго клешни входятъ въ двѣ дыры сдѣланныя въ боковыхъ граняхъ камня. Дыры эти должны быть на горизонталь-

ной линіи, проходящей чрезъ центръ тяжести камня или нѣсколько выше его.

II. Посредствомъ желѣзнаго шипа (plug), нѣсколько утолщеннаго на одномъ коцнѣ и имѣющаго проушину на другомъ. Шипъ этотъ загоняется нѣсколькими ударами молота въ цилиндрическую дыру сдѣланную въ камнѣ надъ его центромъ тяжести; въ проушину на верхнемъ концѣ шипа входитъ крюкъ при цѣпи, которою поднимаютъ камень. Когда камень положенъ на мѣсто, тогда шипъ освобождаютъ изъ дыры боковыми ударами по немъ. Такое укрѣпленіе шипа очень хорошо въ камняхъ самыхъ твердыхъ породъ, каковъ гранитъ.

III. Помощью двухъ такихъ же шиповъ, загоняемыхъ въ дыры, которыя сдѣланы въ верхней сторонѣ камня и отклоняются отъ отвѣсной линіи центра тяжести въ разныя стороны на половину прямаго угла. Цѣпи при крюкахъ, вдѣваемыхъ въ проушины шиповъ, имѣютъ направленіе перпендикулярное къ шипамъ и сходятся подъ прямымъ угломъ въ точкѣ прикрѣпленія къ главной цѣпи. Натянутость каждой изъ этихъ боковыхъ цѣпей равна вѣсу камня умноженному на 0.707.

IV. Посредствомъ *волчьей лапы* (lewis), состоящей изъ трехъ отдѣльныхъ кусковъ желѣза. Два боковыя куска имѣютъ форму полулапы, средній кусокъ или ключь вездѣ одинакой толщины; вверху каждая часть имѣетъ проушину для пропуска цѣпи. Дыра въ которую вставляется такая лапа, къ низу дѣлается шире; глубина ея можетъ быть отъ 2 до 10 дюймовъ, смотря по вѣсу камня. Сначала вставляются въ дыру боковыя части лапы, потомъ между ними вколачивается ключь, который прижметъ боковыя части къ стѣнкамъ дыры.

Самая употребительная машина для подниманія и переноски камней при обыкновенныхъ постройкахъ есть подвижной поворотный кранъ. При большихъ строеніяхъ употребляется телѣжка, которая движется по платформѣ и лѣсамъ. Для устройства лѣсовъ ставится два параллельныхъ между собою ряда столбовъ, въ разстояніи наибольшей ширины строенія одинъ отъ другаго, и вовсю длину его; столбы связаны между собою раскосами, и по верху ихъ лежатъ продольныя балки съ рельсами. Платформа дѣлается въ всю ширину строенія и состоитъ изъ двухъ или болѣе балокъ, которыхъ устройство зависитъ отъ ихъ

длины; по концамъ платформы есть колеса, которыя катятся по рельсамъ. Платформа поддерживаетъ четырехколесную телѣжку съ воротомъ, которая можетъ двигаться вдоль платформы или поперегъ строенія по рельсамъ, находящимся на платформѣ. Перемѣщеніемъ платформы по лѣсамъ вдоль строенія, и телѣжки по платформѣ поперегъ его, можно помѣстить воротъ надъ тою точкой строенія, куда нужно положить камни. Все это можетъ быть приводимо въ движеніе паровою машиною.

252. Инструменты употребляемые при постройкахъ. Въ §§ 65 и 68 говорено было о томъ, какъ назначаются на мѣстѣ тѣ точки, по которымъ повѣряется положеніе и высоты главныхъ частей каменнаго строенія.

Во время возведенія строенія употребляется для назначенія длинныхъ прямыхъ линій веревка или *причалокъ*, по которому выравниваютъ лицевыя ребра постелей; линейка или *правило* служитъ для короткихъ прямыхъ линій и для повѣрки плоскостей; *наугольникъ* и *малка* для назначенія и повѣрки прямыхъ и острыхъ угловъ; правило съ отвѣсомъ для отвѣсныхъ или мало отклоняющихся отъ отвѣса линій; *ватерпасъ* для горизонтальныхъ линій и плоскостей, онъ бываетъ съ отвѣсомъ или съ уровнемъ, послѣднее лучше.

Когда лицо стѣны должно быть отвѣсно, то его можно назначить и повѣрить посредствомъ правила съ отвѣсомъ; параллельно ребру линейки назначена на ней черта съ прорѣзомъ внизу, нить отвѣса укрѣпляется вверху черты и должна ее покрывать, а гиря отвѣса должна входить въ нижнее отверстіе, когда край линейки имѣтъ отвѣсное положеніе.

Когда лицо стѣны должно уклоняться отъ отвѣснаго направленія по всей высотѣ подъ однимъ угломъ, то край правила долженъ съ проведенною на немъ чертою для отвѣса, составлять такой же уголъ. Отклоненіе лица стѣны отъ отвѣса выражается величиною отклоненія при данной высотѣ, напримѣръ уклонъ въ одну двѣнадцатую или одинъ дюймъ на футъ.

Когда разрѣзъ лица стѣны отвѣсною плоскостью есть кривая линія, то повѣрка лица производится по *лекалахъ*: это доски, которыхъ одинъ край обрѣзанъ по кривой, соотвѣтственной разрѣзу кладки отвѣсною плоскостью, и на которыхъ назначены черты, приводимыя въ отвѣсное положеніе по нити съ гирею. Приготовленіе лекалъ должно производиться очень тщательно, въ нѣкоторыхъ случаяхъ

на лекалѣ назначаются точки, противъ которыхъ должны приходиться ряды камней. Большія лекалы составляются иногда изъ нѣсколькихъ связанныхъ между собою досокъ.

Когда постели рядовъ плоски и горизонтальны, то они повѣряются по ватерпасу и простому правилу. Если это наклонныя плоскости то надобно употреблять правило съ чертою, которая должна быть горизонтальна, когда край его имѣетъ требуемое наклоненіе къ горизонту; черта вывѣряется въ горизонтальномъ положеніи по уровню. Перпендикулярныя къ прямому или кривому лицу стѣны постели могутъ быть повѣряемы по наугольнику. Криволинейныя постели требуютъ для вывѣрки особенныхъ лекалъ.

Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда должно заботиться объ сбереженіи времени и денегъ, инженеръ долженъ избѣгать употребленія кривыхъ линій и поверхностей въ каменной кладкѣ; сравнительно съ прямыми линіями и плоскостями онѣ требуютъ гораздо больше времени и издержекъ на назначеніе и выведеніе и гораздо труднѣе для повѣрки. Неточность прямой линіи или плоскости замѣчается на глазъ, тогда какъ неправильность въ кривизнѣ линіи или поверхности узнается только при помощи дорого стоящихъ лекалъ или большимъ числомъ промѣровъ; въ значительныхъ строеніяхъ форма имѣетъ большую важность потому что отступленія отъ нее могутъ имѣть вліяніе на крѣпкость или устойчивость строенія.

253. Обмѣръ каменной работы въ строеніяхъ должно дѣлать въ кубическихъ саженяхъ или футахъ.

При опредѣленіи количества каменной работы въ гражданскихъ зданіяхъ назначаютъ иногда площадь лица стѣны или число погонныхъ сажень постелей, но такое опредѣленіе негодится для инженерныхъ строеній.

ОТДѢЛЪ VI. КИРПИЧНАЯ КЛАДКА.

254. Общія правила, наблюдаемыя при возведеніи строеній изъ кирпича суть слѣдующія:

I. Всѣ скоробленные и изломанные кирпичи должны быть отброшены.

II. Постели рядовъ надобно располагать совершенно или почти перпендикулярно къ направленію того давленія, которому они подвергаются; швы должны быть расположены въ перевязку т. е. швъ каждаго ряда долженъ за-

ходить за шовъ нижняго ряда покрайней мѣрѣ на четверть длины кирпича.

III. Поверхность каждаго кирпича должна быть очищена и смочена прежде положенія на мѣсто для того, чтобы онъ не вытягивалъ слишкомъ быстро влажности изъ раствора.

IV. Каждый шовъ долженъ быть совершенно наполненъ растворомъ, и толщина слоя раствора не должна превосходить одной четверти дюйма. Въ кондиціяхъ на производство кирпичной кладки для того, чтобы предупредить неумѣренное употребленіе раствора, должно означать число рядовъ кирпичей въ данной высотѣ стѣны. Такъ по урочному положенію назначено 30 рядовъ кирпичей на 1 сажень вышины, при этомъ толщина швовъ предполагается менѣе одной шестой доли дюйма; если назначено что на 23 дюймахъ высоты должно помѣщаться 8 рядовъ кирпичей указной толщины въ $1^1/_2$ вершка, то толщина швовъ будетъ въ $^1/_4$ дюйма.

V. Неупотреблять въ дѣло половинокъ (bets), кромѣ крайней необходимости на примѣръ для заключенія ряда, обдѣлки угла, или у отверстій въ стѣнахъ; обломокъ кирпича никогда недолженъ быть менѣе его половины.

При опредѣленіи длины или толщины кирпичной кладки за единицу мѣры берутъ очень часто длину кирпича, которая дѣлается въ Россіи въ 6 вершковъ; по этому полкирпича означаетъ 3 вершка или $5^1/_4$ дюймовъ, одинъ кирпичь — 6 вершковъ или $10^1/_2$ дюймовъ, полтора кирпича — 9 вершковъ или $15^3/_4$ дюйма, два кирпича 12 вершковъ или 21 дюймъ и т. д.

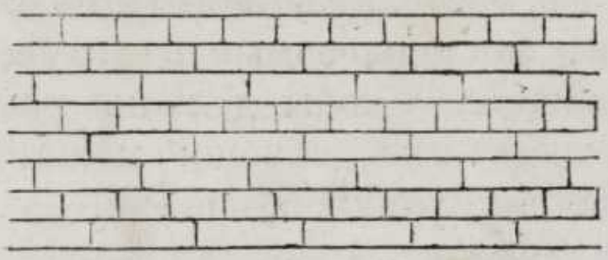
Объемъ раствора въ кирпичной кладкѣ составляетъ одну пятую объема кирпича.

255. Перевязка швовъ въ кирпичной кладкѣ. Такъ какъ кирпичи, употребляемые въ строеніяхъ имѣютъ всѣ одинакую величину и форму, то они располагаются по одной какой нибудь системѣ, опредѣляющей перевязку.

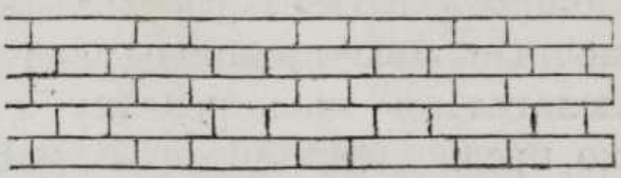
Какъ въ тесовой, такъ и въ кирпичной кладкѣ, *тычкомъ* называется кирпичь, лежащій длиною своею перпендикулярно къ лицу стѣны, а *ложкомъ* кирпичь, лежащій длиною по лицу стѣны. Такъ какъ длина кирпича вдвое болѣе его ширины, то одинъ ложокъ занимаетъ столько же мѣста, сколько два тычка по лицу стѣны.

I. *Англійская перевязка*, которая считается самою крѣп-

окю и устойчивою, состоитъ изъ смѣняющихся рядовъ тычковъ и ложковъ (чер. 166).



Чер. 166.



Чер. 167.

Смѣна эта дѣлается иногда черезъ рядъ, иногда же бываетъ одинъ рядъ тычковъ на два, на три или даже на четыре ряда ложковъ. Ложки связываютъ стѣну вдоль, тычки даютъ ей поперечную связь. Относительное количество рядовъ ложковъ и тычковъ зависитъ отъ относительной важности продольной и поперечной крѣпкости стѣны. При показанномъ на чер. 166 расположеніи стѣна имѣетъ одинакую продольную и поперечную крѣпкость: на два ряда ложковъ есть одинъ рядъ тычковъ и тоже расположеніе употребляется въ большей части случаевъ.

Въ фабричныхъ трубахъ, подверженныхъ дѣйствію разширяющихъ силъ и разтрескиванію, продольная связь важнѣе поперечной, и въ нихъ надобно класть три или четыре ряда ложковъ на одинъ рядъ тычковъ.

При употребленіи Англійской перевязки надобно помнить, что въ каждомъ ряду тычковъ вдвое болѣе боковыхъ швовъ нежели въ ложковомъ ряду; какъ бы тонки нибыли эти швы, все таки два тычка займутъ больше мѣста нежели одинъ ложокъ и совершенно точной перевязки, въ которой швы заходятъ одинъ за другой на четверть кирпича, быть не можетъ; напротивъ того въ самыхъ тщательно возведенныхъ строеніяхъ случается что какой нибудь шовъ однаго ряда приходится прямо надъ швомъ нижняго ряда.

II. Въ *Голландской перевязкѣ* (чер. 167) каждый рядъ состоитъ изъ смѣняющихся тычковъ и ложковъ; тычекъ каждаго ряда лежитъ на срединѣ ложка нижняго ряда. Такъ какъ число заусеночныхъ швовъ во всѣхъ рядахъ одинаково, то тутъ не можетъ случиться неправильности въ перевязкѣ и стѣна имѣетъ лучшій наруженый видъ нежели при Англійской перевязкѣ, которая однакоже считается крѣпче.

256. Желѣзныя связи. Для увеличенія продольной крѣпкости стѣны, въ ней закладываются иногда желѣзныя скобы; онѣ кладутся плашмя въ постеляхъ и имѣютъ по концамъ загибы въ два дюйма, закладываемые въ заусеночные швы нижняго ряда кирпичей. Скобы должны располагаться въ перевязку и площадь ихъ сѣченія можетъ не превосходить 1—300й площади кирпичной кладки.

257. Замазка швовъ (см. § 248).

258. Нижніе ряды кирпичной кладки выступаютъ постепенно съ лица и задней грани стѣны на четверть кирпича, образуя ступени: это дѣлается для распространенія давленія на большую площадь и продолжается до тѣхъ поръ, пока площадь будетъ довольно велика, согласно правиламъ Отдѣла IV этой главы.

259. Прокладки и карнизы, когда дѣлаются изъ кирпича, должны состоять только изъ тычковъ: для карнизовъ употребляются иногда кирпичи бо́льшихъ противъ обыкновеннаго размѣровъ. Въ кирпичныхъ стѣнахъ прокладки и карнизы, для приданія имъ большей крѣпкости, дѣлаются изъ тесаныхъ камней.

260. Углы изъ тесанаго камня при кирпичной кладкѣ требуютъ чрезвычайно тонкихъ слоевъ раствора въ постеляхъ между кирпичами; потому что число этихъ швовъ въ три или четыре раза больше числа постельныхъ швовъ въ угловыхъ камняхъ, и слѣдовательно средняя часть кладки будетъ садиться больше угловъ отъ того могутъ происходить трещины, измѣненіе формы и даже разрушеніе строенія.

261. Уроки кирпичной кладки. По указаніямъ Готея выведены слѣдующія данныя.

Число рабочихъ дней для одной кубической сажени.

	Каменьщиковъ.	Чернорабочихъ.	Постройка лѣсовъ.
Обыкновенная кладка	7.36	11.43	2.54
Своды	11.43	11.43	разное.

При возведеніи сводовъ въ работу постройки лѣсовъ входитъ устойство кружалъ, тѣхъ деревянныхъ связей которыя поддерживаютъ сводъ во время его возведенія: объ нихъ будетъ говорено въ послѣдствіи.

262. Обмѣръ кирпичной кладки въ строеніяхъ дѣлается въ кубическихъ саженяхъ; по урочному положенію на одну кубическую сажень идетъ 3540 кирпичей.

Можно также назначать объемъ кладки числомъ квадратныхъ саженей лица стѣны съ указаніемъ ея толщины въ кирпичахъ.

ОТДѢЛЪ VII. ОПОРНЫЯ И ПОДДЕРЖИВАЮЩІЯ СТѢНЫ.

263. Устойчивость каменной и кирпичной кладки зависитъ отъ выполненія условій, указанныхъ въ § 139 т. е. отъ *устойчивости положенія*, когда строеніе неможетъ быть опрокинуто и отъ *устойчивости тренія*, когда оно не можетъ сдвинуться; и оба эти условія должны выполняться въ постели каждаго ряда камней.

Вотъ самыя лучшія средства выражать эти условія формулами, удобными для вычисленій:

I. *Устойчивость положенія* существуетъ тогда, когда моментъ силы, стремящейся опрокинуть часть строенія выше постели даннаго ряда, не превосходитъ момента устойчивости этой части. Для того, чтобы выразить моментъ устойчивости строенія у даннаго постельнаго шва, надобно вопервыхъ опредѣлить наибольшее разстояніе, на которое *центръ давленія* или *центръ сопротивленія* въ этомъ швѣ можетъ отклоняться отъ средины постели, безъ вреда для устойчивости строенія.

Пусть q означаетъ наибольшую величину отношенія этаго отклоненія къ толщинѣ строенія въ данной постели.

Въ опорныхъ стѣнахъ, быкахъ и устояхъ арокъ и фермъ величина q должна быть въ предѣлахъ, назначенныхъ въ §. 236 для основаній на скалѣ, такъ чтобы ни въ одной точкѣ постели не было натянутости, при чемъ предполагается что напряженіе измѣняется равномѣрно. Разныя величины q даны въ § 179. Большею частью строенія имѣютъ форму прямоугольную, для которой $q = {}^1/_6$.

Въ существующихъ поддерживающихъ стѣнахъ, подверженныхъ давленію воды или земли, коефицентъ q имѣетъ слѣдующія величины; въ строеніяхъ, возведенныхъ Англійскими инженерами 0.375, Французскими отъ 0.3 до 0.25.

Вотъ способъ какъ опредѣлять для прямоугольныхъ построекъ найбольшую величину q совмѣстную съ безопасностью матеріала отъ раздробленія, при чемъ предполагается что единичная величина давленія уменьшается равномѣрно отъ сжимаемаго ребра постели до противоположнаго ея ребра, что растворъ не подвергается вытягиванію и что

слѣдовательно разстояніе отъ центра сопротивленія до сжимаемаго ребра составляетъ одну треть этой толщины, на которой дѣйствуетъ давленіе.

Пусть R означаетъ все давленіе въ данномъ постельномъ швѣ, b ширину, t толщину въ футахъ каменнаго строенія у этой постели, f' наибольшее безопасное давленіе въ пудахъ на квадратный футъ, это есть одна восьмая разрушающей силы; тогда

$$f' = \frac{2}{3}\,\mathrm{R} : \left(\frac{1}{2} - q\right) b\,t$$

Откуда

$$q = \frac{1}{2} - \frac{2\,\mathrm{R}}{3 f' b\,t} \ldots\ldots (1.)$$

Послѣ опредѣленія величины q, положимъ что $r\,t$ есть разстояніе отъ средней точки постели до точки пересѣченія этой постели отвѣсною линіею, проходящею чрезъ центръ тяжести части строенія, находящейся выше этой постели. Пусть W означаетъ вѣсъ этой части строенія, а j уголъ наклоненія къ горизонту линіи, соединяющей крайнее положеніе центра сопротивленія въ плоскости постели съ точкой пересѣченія этой постели отвѣсомъ, проходящимъ грезъ центръ тяжести части строенія W.

Моментъ устойчивости будетъ

$$\mathrm{M} = \mathrm{W}\,(q \pm r)\,t \cos j \ldots\ldots (2.)$$

Знакъ + берется тогда, когда центръ давленія и отвѣсъ опущенный изъ центра тяжести строенія находятся на разныхъ сторонахъ средней точки постели, въ противномъ случаѣ берется знакъ. —

Этому выраженію можно дать другой видъ, удобный при сравненіи строеній имѣющихъ подобныя формы, но разные размѣры.

Назовемъ h высоту строенія надъ средней точкой данной постели, b ширину его въ направленіи перпендикулярномъ или сопряженномъ толщинѣ его t, w вѣскость матеріала. Тогда

$$\mathrm{W} = n\,.\,w\,h\,b\,t \ldots\ldots (3.)$$

Здѣсь n есть численный коефицентъ, зависящій отъ фигуры строенія и отъ величины угловъ, которыя направленія его измѣреній h, b и t составляютъ между собою или углы наклоненія осей координатъ, къ которымъ отнесено строеніе.

Если ввести это выраженіе въ уравненіе (2.) то получимъ

$$M = n(q \pm r)\cos j \,.\, w \,.\, h\, b\, t^2 \ldots\ldots (4.)$$

Это выраженіе состоитъ изъ трехъ множителей.

(1.) $n(q \pm r)\cos j$ численный коэфицентъ, зависящій отъ *формы* строенія, взаимнаго *наклоненія* его осей координатъ и *направленія*, въ которомъ дѣйствующая сила стремится опрокинуть строеніе.

(2.) w вѣскость матеріала.

(3.) $h\, b\, t^2$ количество зависящее отъ размѣровъ строенія.

Первый множитель одинаковъ во всѣхъ строеніяхъ, имѣющихъ однородныя фигуры, при одинаково наклонныхъ координатахъ, и при подобнымъ образомъ приложенныхъ силахъ, или иначе во всѣхъ строеніяхъ, которыхъ фигуры точно также какъ и линіи дѣйствія силъ, къ нимъ приложенныхъ, суть *параллельныя проложенія при одинаково наклоненныхъ координатахъ* (§ 101 и 140). Для такого рода строеній моментъ устойчивости пропорціоналенъ: вѣскости матеріала, высотѣ, ширины и квадрату толщины или квадрату того измѣренія основанія, которое параллельно отвѣсной плоскости, содержащей линію дѣйствія силы.

Общее выраженіе момента силы, стремящейся опрокинуть часть строенія, возвышающуюся надъ данной постелью, относительно крайняго положенія центра сопротивленія, есть слѣдующее:

Назовемъ P величину этой силы, θ уголъ составляемый ея направленіемъ съ горизонтомъ и считаемый въ сторону противную углу j наклоненія постели, x' отвѣсное и y' горизонтальное разстояніе точки приложенія этой силы отъ центра сопротивленія постели.

Перпендикулярное разстояніе отъ центра сопротивленія до силы P будетъ $x' \cos\theta - y' \sin\theta$; и искомый моментъ дается формулою, которая выражаетъ условіе что онъ не будетъ превосходить устойчивости строенія

$$P(x' \cos\theta - y' \sin\theta) \leq M \ldots\ldots (5.)$$

II. *Устойчивость тренія* существуетъ тогда, когда равнодѣйствующая давленій составляетъ съ нормальною къ поверхности постели уголъ меньшій угла покоя того матеріала, изъ котораго возведено строеніе. Пусть φ этотъ уголъ (§ 110).

Уголъ равнодѣйствующей давленій съ отвѣсною плоскостью есть

$$\text{arc tang}\ \frac{P\cos\theta}{W+P\sin\theta}$$

и условіе устойчивости тренія выражается формулою

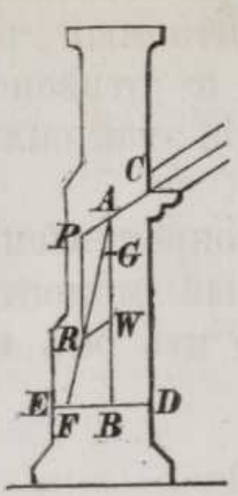
$$\text{arc tang}\ \frac{P\cos\theta}{W+P\sin\theta}-j\leq\varphi\ \ldots\ldots\ (6.)$$

Условію этому можно всегда удовлетворить приличлымъ выборомъ угла j.

264. Устойчивость опорной стѣны съ отвѣсными гранями и горизонтальными рядами. Чертежъ 168 представляетъ отвѣсное сѣченіе опорной стѣны, отвѣсная плоскость CD есть лицевая ея грань, въ которую упирается арка, дуга или подкосъ въ точкѣ C и производитъ на нее давленіе въ данномъ направленіи CA. Для устойчивости стѣны необходимо, чтобы условія устойчивости выполнялись у постели каждаго ряда: пусть DE одна изъ постелей.

Если бы нѣсколько силъ дѣйствовало на стѣну, то P должно было бы означать равнодѣйствующую всѣхъ силъ, приложенныхъ выше постели DE.

Центръ тяжести верхней части стѣны находится въ G, вѣсъ ея есть W. Чрезъ точку G проведите отвѣсную прямую, которая пересѣчетъ направленіе силы P въ точкѣ A, а постель DE въ точкѣ B; отложите $AW=W$ и $AP=P$; постройте параллелограмъ $APRW$. Діагональ AR представитъ равнодѣйствующую всѣхъ силъ дѣйствующихъ въ той части стѣны, которая выше шва DE; сопротивленіе въ этомъ швѣ должно быть равно и противоположно этой силѣ. Продолженіе линіи AR пересѣкаетъ шовъ DE въ точкѣ F, которая недолжна выходить изъ нѣкоторыхъ предѣловъ для того чтобъ существовала устойчивость положенія.



Чер. 168.

Для устойчивости тренія уголъ AFB долженъ быть неменьше пополненія угла покоя до прямаго.

Для того чтобы выразить алгебрически условія устойчивости, надобно замѣтить что здѣсь

$$C D = x'; D F = y'; j = 0$$

и слѣдовательно уравненіе (5.) предъидущаго параграфа обращается въ

$$P (x' \cos \theta - y' \sin \theta) \leqq n (q \pm r) w h b t^2 \ldots\ldots\ldots (1.)$$

ауравненіе (6.)

$$\frac{P \cos \theta}{n w h b t + P \sin \theta} \leqq \operatorname{tang} \varphi \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Эти основныя формулы могутъ служить для рѣшенія слѣдующихъ задачъ:

I. Дано отношеніе между вѣсомъ и размѣрами разсматриваемой части опорной стѣны или иначе говоря данъ коефицентъ n, требуется опредѣлить наименьшуя толщину t у шва DE, совмѣстную съ устойчивостью положенія.

Въ уравненіи (1.) сдѣлайте $y' = \left(q + \frac{1}{2}\right) t$ и замѣните знакъ $\leqq$ знакомъ $=$,

$$n (q + r) w h b t^2 = P (x' \cos \theta - \left(q + \frac{1}{2}\right) t \sin \theta).$$

чтобы видъ этаго квадратнаго уравненія былъ проще положите

$$\frac{P x' \cos \theta}{n (q + r) w h b} = A, \frac{\left(q + \frac{1}{2}\right) P \sin \theta}{2 n (q + r) w h b} = B;$$

оно будетъ тогда

$$t^2 = A - 2 B t$$

котораго корень есть

$$t = \sqrt{(A + B^2)} - B \ldots\ldots\ldots (3.)$$

II. Опредѣлить наименьшій вѣсъ матеріала надъ точкою C, неодходимаго для устоичивости тренія.

Наибольшее отклоненіе давленія отъ нормальной происходитъ въ швѣ кладки находящемся непосредственно ниже точки C. Пусть h_0 высота стѣны надъ этимъ швомъ, b_0 ширина ея, t_0 искомая толщина; тогда

$$n w h_0 b_0 t_0 = \mathrm{P}\left(\frac{\cos\theta}{\tan\varphi} - \sin\theta\right). \quad \ldots\ldots (4.)$$

Ш. Частный случай. Прямая стѣна. Въ прямой стѣнѣ ширина b и толщина t постоянны; если h_0 есть высота стѣны надъ точкою C, то высота ея надъ какимъ нибудь швомъ будетъ

$$h = h_0 + x.$$

Такъ какъ центръ тяжести стѣны находится на одной отвѣсной линіи съ центромъ постели, то $r = 0$; а такъ какъ $\mathrm{W} = w\,b\,h\,t$, то $n = 1$.

Значенія эти надобно подставить въ уравненіе (3.) и тогда получатся выводы, въ которыхъ x означаетъ пониженіе основанія стѣны подъ точкою C

$$\mathrm{A} = \frac{\mathrm{P}\,x\cos\theta}{q\,w\,(h_0+x)\,b};\quad \mathrm{B} = \frac{\left(q+\frac{1}{2}\right)\mathrm{P}\sin\theta}{2\,q\,w\,(h_0+x)\,b};\quad t = \sqrt{(\mathrm{A}+\mathrm{B}^2)} - \mathrm{B}\,. \quad (5.)$$

При увеличиваніи x до безконечности, толщина t приближается къ предѣлу

$$t = \sqrt{\frac{\mathrm{P}\cos\theta}{q\,w\,b}} \quad \ldots\ldots\ldots (6.)$$

который зависитъ только отъ величины горизонтальной составляющей давленія.

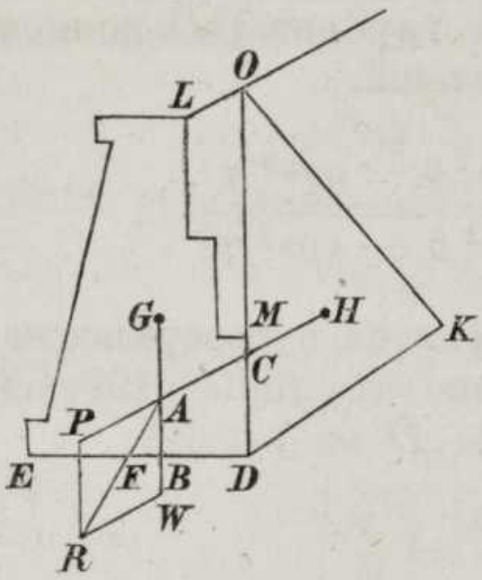
Полагая, что для приданія стѣнѣ большей устойчивости ей дана эта толщина безъ соображенія съ ея высотою, можно опредѣлить высоту стѣны h_0 поверхъ точки C для того, чтобы существовала устойчивость тренія

$$h_0 = q\,t\,.\frac{\cos(\varphi+\theta)}{\sin\varphi\cos\theta} = \frac{\cos(\varphi+\theta)}{\sin\varphi}\,.\sqrt{\left(\frac{q\,\mathrm{P}}{w\,b\cos\theta}\right)}. \quad \ldots (7.)$$

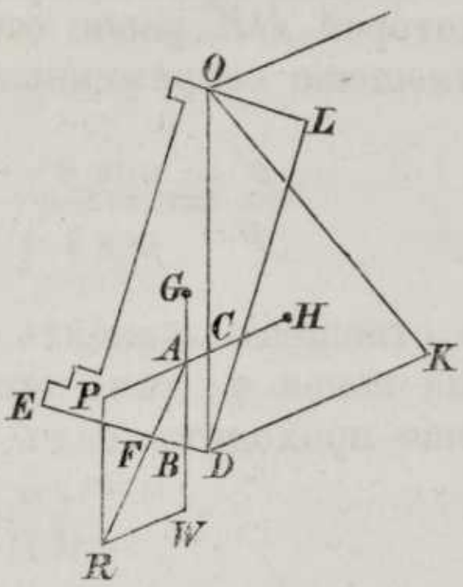
Прямоугольная масса $h_0\,b\,t$ можетъ быть замѣнена надстройкою произвольной формы, но того же вѣса

265. Устойчивость поддерживающихъ стѣнъ. Чертежи 169 и 170 суть разрѣзы отвѣсными плоскостями стѣнъ, поддерживающихъ землю. Въ каждой фигурѣ разсматривается отвѣсный слой каменной кладки и земли, котораго длина есть единица. DE есть основаніе каменной кладки,

F центръ сопротивленія въ этомъ основаніи, B точка основанія находящаяся на отвѣсѣ точки G, центра тяжести



Чер. 169.



Чер. 170.

стѣны, AW линія представляющая грузъ, давящій на основаніе, AP представляетъ распоръ земли; AR діагональ параллелограмма $AORW$, представляющая давленіе на основаніе и пересѣкающая его плоскость въ F, центрѣ сопротивленія.

Въ каждомъ чертежѣ DO есть отвѣсная плоскость, содержащая внутреннее ребро D основанія и пересѣкающая земляной откосъ въ линіи O. Въ чертежѣ 169 вся масса стѣны находится передъ этою плоскостью, и вѣсъ ея изображаемый длиною AW или просто буквою W включаетъ также массу земли OLM; G есть общій центръ тяжести земли и стѣны.

Въ чертежѣ 170 часть каменной кладки DLO находится за плоскостью DO. Если бы призма DLO была земляная, вѣсъ ея былъ бы поддержанъ ниже лежащею землею, которая по этому производитъ давленіе снизу вверхъ, достаточное для поддержанія земляной призмы, имѣющей одинакой объемъ съ каменною кладкою, находящеюся за отвѣсною плоскостью DO. Вѣсъ W, представляемый линіею AW и поддерживаемый основаніемъ DE, состоитъ изъ вѣса стѣны безъ вѣса призмы земли, имѣющей объемъ DLO; а точка G есть общій центръ тяжести каменной кладки, лежащей передъ плоскостью DO, и призмы DLO, которой вѣскость равна избытку вѣскости камня надъ вѣскостью земли.

Въ статьѣ IV § 183 сказано было, что давленіе земли на отвѣсную плоскость DO параллельное уклону и представляемое линіей AP, равно вѣсу земляной призмы ODK, въ которой DK равно отвѣсной глубинѣ OD помноженной на отношеніе сопряженныхъ давленій.

$$\frac{p'}{p} = \frac{\cos\theta - \sqrt{(\cos^2\theta - \cos^2\varphi)}}{\cos\theta + \sqrt{(\cos^2\theta - \cos^2\varphi)}},$$

а это отношеніе зависитъ отъ уклона θ поверхности земли и угла покоя φ; тамъ же сказано что линія дѣйствія этаго давленіе проходитъ надъ точкою D на высотѣ

$$CD = \frac{OD}{3} = \frac{x}{3}$$

Назвавъ w' вѣскость земли, положимъ для краткости

$$w' \cos\theta \frac{p'}{p} = w_1$$

Тогда уравненіе (18.) § 183 обращается въ

$$P = \frac{w_1 x^2}{2} \ldots\ldots (1.)$$

Чтобы опредѣлить моментъ силы стремящейся опрокинуть стѣну, надобно умножить эту величину силы на перпендикулярное разстояніе отъ F до CP. Назовемъ t толщину стѣны у шва DE, а j уголъ наклоненія этаго шва къ горизонту; тогда плечо силы выразится чрезъ

$$\frac{x\cos\theta}{3} - \left(q + \frac{1}{2}\right) t \,.\, \sin(\theta + j);$$

По умноженіи силы P на это плечо и сравненіи этаго произведенія съ моментомъ устойчивости груза лежащаго на DE, получится уравненіе, которое выражаетъ условіе устойчивости положенія

$$W(q \pm r')\, t \,.\, \cos j = \frac{w_1 x^3 \cos\theta}{6} - \frac{w_1 x^2 t}{2}\left(q + \frac{1}{2}\right) \sin(\theta + j) \,..\, (2.)$$

Предположите теперь какъ въ § 263 что W имѣетъ опредѣленное отношеніе n къ каменному прямоугольнику

$w\,x\,t\cos j$, котораго высота $O\,D = x$, а ширина равна горизонтальному разстоянію отъ E до DO или $t\cos j$; тогда первая часть уравненія (2.), представляющая моментъ устойчивости, обращается въ

$$n\,(q \pm r)\,w\,x\,t^2\cos^2 j.$$

Если раздѣливъ обѣ части уровненія на

$$n\,(q \pm r)\,w\,x^3\cos^2 j$$

положить для краткости

$$\frac{w_1\cos\theta}{6\,n\,(q \pm r)\,w\cos^2 j} = a;$$

$$\frac{w_1\left(q+\frac{1}{2}\right)\sin(\theta+j)}{4\,n\,(q \pm r)\,w\cos^2 j} = b;$$

то уравненіе обратится въ

$$\frac{t^2}{x^2} = a - 2b\frac{t}{x} \ldots\ldots (3.)$$

откуда

$$\frac{t}{x} = \sqrt{a+b^2} - b \ldots\ldots (4.)$$

Отклоненіе равнодѣйствующей AR отъ отвѣсной линіи дается уравненіемъ

$$\text{tang W A R} = \frac{\text{P}\cos\theta}{\text{W} + \text{P}\sin\theta} \ldots\ldots\ldots (5.)$$

Когда основаніе DE горизонтально, тогда уголъ WAR не долженъ превосходить угла покоя. При основаніи, наклонномъ подъ угломъ j, устойчивость требуетъ выполненія неравенства

$$\text{W A R} - j \leq \varphi' \ldots. (6.)$$

гдѣ φ' есть уголъ покоя стѣны.

Стѣнамъ даются наклонныя основанія для того, чтобы уменьшить отклоненіе давленія отъ нормальной и такимъ образомъ усилить устойчивость тренія.

Объ величинахъ коэфицента q сказано въ § 263.

266. Устойчивость прямоугольныхъ поддерживающихъ стѣнъ. Въ отвѣсной прямоугольной стѣнѣ $n=1$, $r=o$, $j=o$, слѣдовательно въ уравненіяхъ (3) и (4) количества a и b имѣютъ слѣдующія величины

$$a=\frac{w_1\cos\theta}{6\,q\,w};\; b=w_1\left(q+\frac{1}{2}\right)\sin\theta:4\,q\,w \quad \ldots\ldots (1.)$$

1й Случай. Когда поверхность земли горизонтальна, или $\theta=0$, тогда

$$w_1=w'\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi};\; b=0;$$

и отношеніе толщины стѣны къ ея высоты есть

$$\left.\begin{aligned}\frac{t}{x}=\sqrt{a}&=\sqrt{\left\{\frac{w'(1-\sin\varphi)}{6\,q\,w\,(1+\sin\varphi)}\right\}}\\&=\operatorname{tang}\left(\frac{90^o-\varphi}{2}\right)\sqrt{\frac{w'}{6\,q\,w}}\end{aligned}\right\}\quad\ldots\ldots (2.)$$

Уравненіе (5.) § 265 обращается въ

$$\left.\begin{aligned}\operatorname{tang}<\mathrm{W\,A\,R}&=\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{W}}=\frac{w_1\,x}{2\,w\,t}\\=\sqrt{\left\{\frac{3\,q\,w'(1-\sin\varphi)}{2\,w\,(1+\sin\varphi)}\right\}}&\leq\operatorname{tang}\varphi'\end{aligned}\right\}\quad\ldots\ldots (3.)$$

Если грунтъ, на которомъ построена стѣна тотъ же, изъ котораго сдѣлана насыпь за стѣною, то можно положить $\varphi'=\varphi$; и тогда возвышая въ квадратъ уравненія (3.) и замѣчая что

$$\operatorname{tang}^2\varphi=\frac{\sin^2\varphi}{1-\sin^2\varphi}=\left(\frac{\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right)^2\cdot\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi},$$

получимъ уравненіе

$$\frac{3\,q\,w'}{2\,w}\leq\left(\frac{\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right)^2\quad\ldots\ldots\ldots (4.)$$

Полагая что удѣльный вѣсъ земли составляетъ четыре пятыхъ вѣса каменной кладки или что $w:w'=5:4$, найдемъ что при обыкновенной величинѣ q въ $3:8$ уравненіе это удовлетворено, когда φ превосходитъ 27^o.

Если бы уравненіе (4.) не удовлетворялось при $q = 3:8$, то надобно было бы найти меньшую величину q изъ уравненія

$$q = \frac{2w}{3w'} \cdot \left(\frac{\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right)^2, \quad \ldots\ldots\ldots (5.)$$

и ввести ее въ уравненіе (2.) для того чтобы найти отношеніе t къ x.

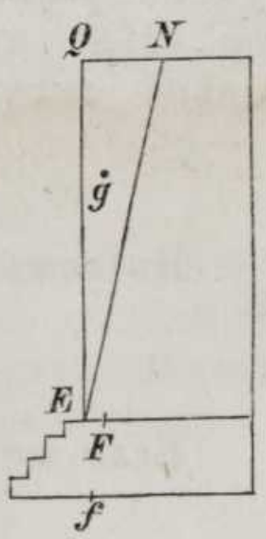
2й Случай. Если поверхность земли наклонена подъ угломъ покоя φ, тогда $w_1 = w' \cos\varphi$ и

$$a = \frac{w' \cos^2\varphi}{6qw}; \; b = \frac{\left(q+\frac{1}{2}\right) w' \cos\varphi \sin\varphi}{4qw} \quad \ldots\ldots\ldots (6.)$$

Величины эти должны быть введены въ уравненіе (4.) § 265 для опредѣленія отношенія t къ x.

267. Устойчивость поддерживающей стѣны съ наклонною гранью. На чертежѣ 171, пусть E Q есть лицевая грань прямоугольной стѣны, выдерживающей распоръ насыпанной за нею земли, и пусть F есть центръ сопротивленія основанія.

Сдѣлайте $\mathrm{Q\,N} = 3\,\mathrm{E\,F} = 3\left(\frac{1}{2} - q\right) t$; центръ тяжести g триугольника E Q N будетъ тогда на отвѣсной линіи проходящей чрезъ центръ сопротивленія F, и потому если эта призма будетъ отнята и лицевая грань стѣны будетъ E N, то положеніе центра сопротивленія не измѣнится, стѣна будетъ удовлетворять условіямъ устойчивости положенія, при толщинѣ t опредѣленной для отвѣсной стѣны



Чер. 171.

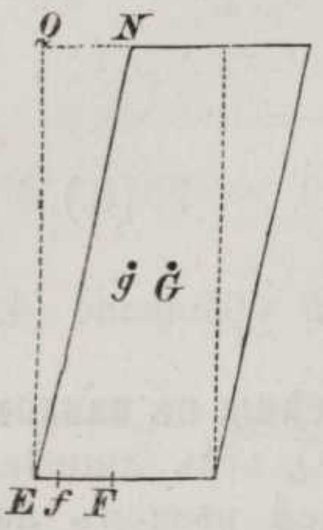
Толщина стѣны вверху будетъ

$$\left(3q - \frac{1}{2}\right) t;$$

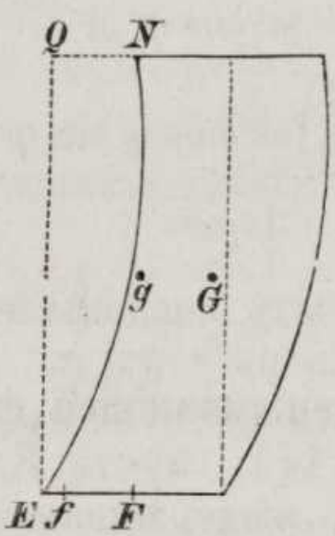
Тангенсъ угла WAR отклоненія отъ отвѣса линіи дѣйствія равнодѣйствующей увеличивается въ отношеніи $\frac{1}{4} + \frac{3q}{2} : 1$, такъ что можетъ быть нужно въ нѣкоторыхъ случаяхъ сдѣлать наклонное основаніе какъ на чертежѣ 170.

268. Устойчивость наклонныхъ поддерживающихъ стѣнъ одинакой толщины. Когда стѣна поддерживающая насыпь съ горизонтальной поверхностью имѣетъ наклонную прямую или кривую грань по лицу какъ на чертежахъ 172 и 173 и вездѣ одинакую толщину, то моментъ ея устойчивости можетъ быть опредѣленъ съ достаточною для практики точностью слѣдующимъ образомъ.

Пусть въ каждомъ чертежѣ EQ представляетъ лицевую грань отвѣсной стѣны той же толщины t и тойже высоты x, какъ и проэктируемая стѣна, и пусть g будетъ центръ тяжести этой стѣны. Тогда



Чер. 172.



Чер. 173.

$$W\,q\,t = q\,w\,x\,t^2$$

будетъ моментъ ея устойчивости на единицѣ длины.

Раздѣлите площадь EQN между отвѣсною линіею EQ и лицомъ EN стѣны на высоту x, тогда

$$q'\,t = g\,G = \frac{E\,Q\,N}{x} \quad \ldots\ldots\ldots (1.)$$

будетъ разстояніе центра тяжести G наклонной или кривой стѣны отъ центра тяжести прямой стѣны; и эта перемѣна фигуры увеличитъ устойчивость въ отношеніи $q + q' : q$; т. е. моментъ устойчивости будетъ теперь

$$W\,(q + q')\,t = (q + q')\,w'\,x\,t^2 \quad \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Въ томъ случаѣ когда EN есть прямая линія (чер. 172.)

$$q'\,t = \frac{Q\,N}{2} \quad \ldots\ldots (3.)$$

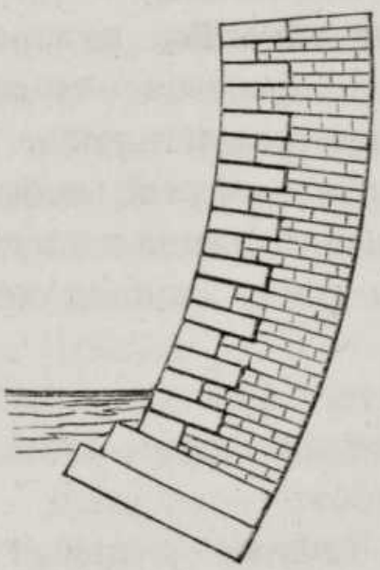
Если же EN дуга параболы, тогда

$$q'\,t = \frac{2\,Q\,N}{3} \quad \ldots\ldots\ldots (4.)$$

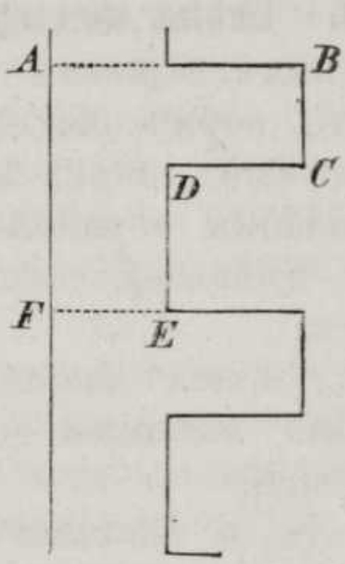
послѣдняя формула довольно вѣрна и въ томъ случаѣ, когда EN есть дуга круга.

Стѣны имѣющія криволинейную поверхность строятся обыкновенно рядами нормальными къ этой поверхности, какъ показано на чертежѣ 174: этимъ уменьшается отклоненіе давленія отъ нормальной.

269. Контрфорсы суть выступы съ задней грани стѣны. Если при хорошей перевязкѣ они составляютъ съ стѣною одно цѣлое, то можно ее разсматривать какъ состоящую изъ нѣсколькихъ частей имѣющихъ разную толщину. Моментъ устойчивости такой стѣны на единицѣ длины можетъ



Чер. 174.



Чер. 175.

быть найденъ сложеніемъ момента части между контрфорсами съ моментомъ части стѣны, увеличенной въ толщинѣ на длину контрфорса, и раздѣленіемъ суммы на общую длину этихъ частей.

Чертежъ 175 представляетъ часть плана или горизонтальнаго проложенія отвѣсной стѣны высотою h, съ рядомъ прямоугольныхъ контрфорсовъ тойже высоты какъ и стѣна. Пусть $t = EF$ есть толщина стѣны между контрфорсами, и $b = ED$ длина ея; $T = AB$ толщина стѣны тамъ гдѣ есть контрфорсы, $c = BC$ ея длина.

Моментъ устойчивости первой части есть $q\,w\,h\,b\,t^2$, а второй части $q\,w\,h\,c\,T^2$. Сложенные вмѣстѣ и раздѣленные на общую длину частей стѣны $b + c = AF$, эти моменты дадутъ средній моментъ стѣны на единицу длины

$$q\,w\,h\,.\,\frac{b\,t^2 + c\,T^2}{b + c} \quad \ldots\ldots (1.)$$

Онъ одинаковъ съ моментомъ стѣны, которая имѣетъ толщину

$$t_1 = \sqrt{\left\{\frac{b\,t^2 + c\,T^2}{b + c}\right\}} \quad \ldots\ldots (2.)$$

и которая можетъ быть названа ей равносильною.

Объемы стѣнъ находятся въ отношеніи количествъ

$$bt+cT:(b+c)t$$

которое всегда менѣе единицы и потому стѣна съ контрфорсами требуетъ менѣе матеріала нежели стѣна одинакой толщины, но разность совершенно ничтожна.

270. Стѣна поддерживающая насыпь, которая возвышается надъ верхомъ стѣны и ограничена естественнымъ откосомъ, верхъ же этой насыпи горизонталенъ. Распоръ производимый такою насыпью есть средній между распоромъ засыпки ограниченной горизонтальною плоскостью и засыпки имѣющей естественый откосъ безконечно продолжающійся.

Слѣдующая формула служитъ для приблизительнаго вычисленія толщины отвѣсной стѣны поддерживающей такую насыпь.

Пусть x означаетъ высоту стѣны, c высоту насыпи надъ верхомъ стѣны, t толщину стѣны поддерживающей засыпку съ горизонтальною поверхностью, толщина эта вычисляется по уравненію (2.) § 266, t' толщину стѣны поддерживающей насыпь съ неопредѣленной длины естественнымъ откосомъ, толщина эта вычислена по формуламъ (6.) § 266 и (4.) § 265; приблизительная толщина предполагаемой стѣны будетъ

$$t''=\frac{xt+2ct'}{x+2c} \quad \ldots\ldots (1.)$$

Когда подошва насыпи лежитъ на верху стѣны почти надъ центромъ сопротивленія основанія, то можно употребить слѣдующую формулу

$$\frac{t''}{x}=\cos\varphi\sqrt{\left(\frac{w'}{6qw}\right)\cdot\left(\frac{x}{1+\sin\varphi}+2c\right):(x+2c)} \quad \ldots (2.)$$

271. Постройка поддерживающихъ стѣнъ. Нижнія ряды каменной кладки выходятъ ступенями за лицо стѣны какъ показано на чертежахъ 171 и 174. Такое утолщеніе стѣны въ низу дѣлается для того, чтобы распредѣлить давленіе на большую площадь и сдѣлать его равномѣрнѣе перенесеніемъ центра сопротивленія къ срединѣ основанія на бижайшее разстояніе противъ того, на какомъ оно находится въ самой стѣнѣ, согласно правиламъ IV отдѣла этой главы.

Стѣна можетъ быть вся сложена изъ кирпича, изъ кирпича или бута съ тесовою облицовкой, изъ однаго бута положеннаго рядами на растворѣ или на сухо. Такъ какъ въ поддерживающихъ стѣнахъ наибольшее давленіе въ каждомъ ряду бываетъ у лица стѣны, то всѣ тѣ кладки, въ которыхъ лицо состоитъ изъ болѣе твердыхъ и правильно обтесанныхъ камней, а задняя часть сдѣлана менѣе тщательно и изъ низшаго рода кладки, очень хороши для такихъ стѣнъ; надобно только чтобъ лицо стѣны было хорошо связано съ забуткою посредствомъ тычковъ и чтобы постели лицевыхъ камней на столько же входили внутрь стѣны на сколько центръ давленія въ основаніи отстоитъ отъ лица стѣны.

Вдóль основанія и передъ поддерживающею стѣною должна быть осушительная канава, какъ у подошвы выемки (§ 193). Для того чтобы вода не накоплялась за стѣною, надобно дѣлать въ ней водосточныя отверстія (weeping holes), шириною въ 2 или 3 дюйма и высотою въ толщину однаго ряда камней; они располагаются въ равныхъ разстояніяхъ по три отверстія на каждой квадратной сажени лица стѣны.

Задняя часть стѣны не должна быть гладкая для того чтобы земля по ней не могла скользить, ее дѣлаютъ для этаго уступами какъ показано на чер. 169.

Въ значительныхъ поддерживающихъ стѣнахъ лицо и задняя часть могутъ быть сложены изъ тесаныхъ камней, а средина сдѣлана изъ бута или бетона, который насыпается рядами соотвѣтственно рядамъ тесаныхъ камней.

Когда засыпка позади стѣны будетъ состоять изъ чистаго песку или хряща, сквозь который вода скоро и легко протекаетъ и можетъ вытекать водосточными отверстіями, тогда надобно засыпку эту класть слоями и трамбовать какъ сказано въ § 198 и 200. Если же засыпается за стѣну глина или вообще земля удерживающая воду, то между засыпкой и стѣной долженъ быть помѣщенъ отвѣсный слой камней или крупнаго гравія толщиною по крайней мѣрѣ въ одинъ футъ; слой этотъ будетъ дѣйствовать какъ водоотводная канава.

Когда матеріалъ изъ котораго сдѣлана засыпка за стѣною глинистаго свойства и слѣдовательно при насыщеніи водою можетъ обратиться въ песокъ или грязь и нѣтъ возможности предъупредить такое насыщеніе посредствомъ

отвода воды, тогда остается расчитать толщину стѣны такъ, чтобы она могла выдержать давленіе жидкости т. е. положить въ формулахъ $\varphi = 0$.

Другое средство, которое можно употребить въ этомъ случаѣ, состоитъ въ устройствѣ насыпи изъ щебня или крупнаго гравія съ уклономъ соотвѣтствующимъ углу его покоя въ сторону задней части стѣны и потомъ насыпать мягкую землю. Давленіе на стѣну никогда не превзойдетъ давленія насыпи изъ твердаго матеріала, имѣющаго уклонъ соотвѣственный своему углу покоя.

Средства уменьшить давленіе на поддерживающія стѣны посредствомъ примкнутыхъ сводовъ и устроивать основанія ихъ въ плывучихъ грунтахъ будутъ описаны въ послѣдствіи.

Карнизъ поддерживающей стѣны долженъ состоять изъ крупныхъ камней положенныя тычкомъ.

272. Связь съ грунтомъ. Въ поддерживающей стѣнѣ устойчивость можетъ быть увеличена желѣзными затяжками или якорями, связывающими ее съ отвѣсными или почти отвѣсными досками, погруженными въ твердый слой земли на такомъ разстояніи отъ стѣны, чтобы эти доски немогли быть какъ нибудь повреждены при вырываніи земли, постройкѣ стѣны или производствѣ засыпки.

Удерживающая сила, на футъ ширины, такой отвѣсной прямоугольной доски можетъ быть вычислена приблизительно такъ.

Пусть x_1 и x_2 глубина верхняго и нижняго ребра подъ поверхностью земли, w' вѣсъ кубическаго фута земли, φ' уголъ ея покоя, H удерживающая сила на погонный футъ ширины доски.

$$H = w' \cdot \frac{x_2^2 - x_1^2}{2} \cdot \frac{4 \sin \varphi}{\cos 2\varphi} \cdot \ldots\ldots (1.)$$

Глубина центра давленія доски подъ поверхностью земли дается слѣдующимъ выраженіемъ

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{x_2^3 - x_1^3}{x_2^2 - x_1^2} \cdot \ldots\ldots (2.)$$

у этаго центра давленія должна быть укрѣплена затяжка.

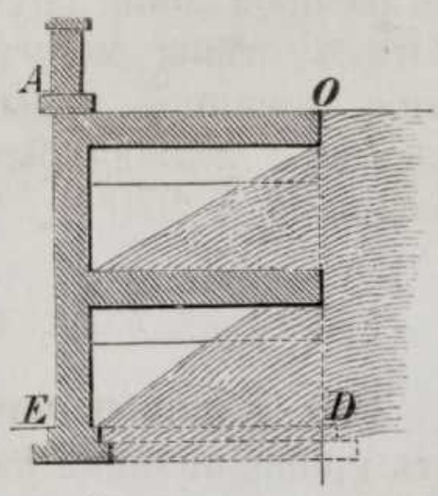
Если для удержанія стѣны отъ скольженія по основанію надѣются только на затяжки, то онѣ должны быть при-

крѣплены къ доскамъ, помѣщеннымъ по лицу стѣны на линіи давленія, производимаго засыпанною позади стѣны землею, то есть на трети ея высоты отъ основанія. Но если сопротивленіе этому скольженію распредѣляется между затяжками и фундаментомъ, то связи могутъ быть помѣщаемы выше; на примѣръ если половина дѣйствія распора должна уничтожаться треніемъ объ основаніе, а другая половина затяжками, то онѣ должны быть помѣщены на двухъ третяхъ высоты стѣны отъ ея основанія.

273. Упоры поддерживающихъ стѣнъ. Можно предупредить скольженіе поддерживающей стѣны горизонтальними рядами камней или кирпичей, упирающихся въ каменныя массы, которыя зарыты въ землю и которыхъ сопротивленіе основано на тѣхъ же началахъ, на какихъ основано сопротивленіе досокъ, упомянутыхъ въ предъидущемъ параграфѣ.

Когда бока выемки поддержаны съ обѣихъ сторонъ стѣнами, то фундаменты ихъ могутъ быть удержаны отъ скольженія и сближенія посредствомъ опрокинутыхъ сводовъ, расположенныхъ поперегъ и ниже дна выемки и служащихъ горизонтальными поперечными распорками. Верхнія части стѣнъ могутъ быть также расперты арками изъ чугуна или кирпичной кладки; арки эти должны помѣщаться на двухъ третяхъ высоты стѣнъ отъ ихъ основанія.

274. Примкнутые своды. Рядъ сводовъ или арокъ, которыхъ оси и лицевыя грани устоевъ расположены перпендикулярно къ лицу насыпи называются примкнутыми или облегчающими сводами (relieving arches). Ихъ можетъ быть нѣсколько ярусовъ и съ лица можетъ быть выстроена стѣна, которая придаетъ строенію снаружи видъ поддерживающей стѣны, хотя длина арокъ такова, что земля не доходитъ до стѣны. Чертежъ 175 представляетъ поперечное сѣченіе такой стѣны съ двумя ярусами примкнутыхъ сводовъ. Для опредѣленія длины арокъ по данной ихъ высотѣ у ключа, или чтобы узнать высоту арокъ по данной длинѣ можно употребить слѣдующія приблизательныя формулы, въ которыхъ x означаетъ глубину ключа арки подъ поверхностью, h высоту арки, l ея длину, φ уголъ покоя земли



Чер. 175.

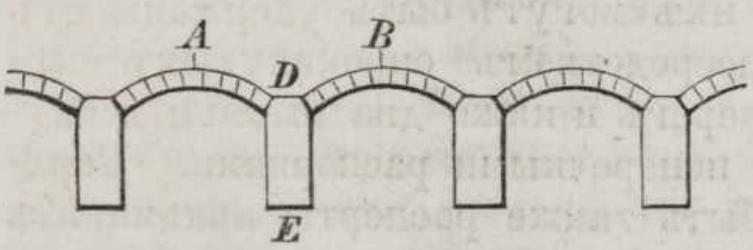
$$l = \operatorname{cotang}\varphi\left(h + \frac{x}{(1+\sin\varphi)^2}\right); \ldots\ldots (1.)$$

$$h = l\,.\,\operatorname{tang}\varphi - \frac{x}{(1+\sin\varphi)^2}. \ldots\ldots (2.)$$

Чтобы вывести условія устойчивости такого строенія, можно опредѣлить давленіе на отвѣсную плоскость OD и соединить его съ вѣсомъ земли и каменной кладки $OAED$ передъ этою плоскостью, тогда получится давленіе на основаніе.

При слабомъ грунтѣ основанія нижняго яруса устоевъ могутъ быть соединены опрокунутыми сводами, которые распредѣлятъ давленіе на всю площадь основанія.

275. Лежачіе опорные своды. Чертежъ 176 представляетъ въ планѣ рядъ опорныхъ стѣнъ связанныхъ лежачими сводами.



Чер. 176.

Для того, чтобы найти толщину $T = DE$ опорныхъ стѣнъ, положимъ что B означаетъ ширину AB земляной массы, опирающейся на одну стѣну, b ширину стѣны, t толщину обыкновенной подлерживающей стѣны расчитанную по уравненію (2.) § 266, тогда

$$\mathrm{T} = t\,.\sqrt{\frac{\mathrm{B}}{b}}; \; b = \mathrm{B}\,.\,\frac{t^2}{\mathrm{T}^2}. \ldots\ldots (1.)$$

При слабомъ грунтѣ фундаменты опорныхъ стѣнъ могутъ быть соединены посредствомъ опрокинутыхъ сводовъ, для разпредѣленія груза на большую площадь; въ верхнихъ частяхъ стѣны могутъ быть связаны арками для поддержанія земляной насыпи или для образованія платформы; толщина t должна быть въ первомъ случаѣ вычислена по правиламъ § 270.

ОТДѢЛЪ VIII. КАМЕННЫЕ И КИРПИЧНЫЕ СВОДЫ.

276. Главныя части каменнаго свода. Сводъ или арка есть криволинейная каменная кладка, имѣющая форму части кольца и состоящая изъ *клиньевъ*, которые касаются другъ

друга въ *швахъ*, перпендикулярныхъ или почти перпендикулярныхъ къ *внутренней поверхности* свода (intrados). *Внѣшнею поверхностью* (extrados) свода называютъ иногда верхнюю поверхность клиньевъ, иногда поверхность забутки, а иногда и всей каменной кладки, возведенной надъ сводомъ.

Внѣшняя поверхность свода, которая бываетъ или кривая или состоитъ изъ плоскостей, образующихъ ступени, подвержена дѣйствію груза всѣхъ тѣхъ матеріаловъ, которые не составляютъ самаго свода, и сама производитъ иногда горизонтальный или наклонный распоръ на надсводную часть или на устои. Устои подвержены также распору горизонтальному или наклонному, производимому нижними клиньями свода. Тѣ ряды камней, которыми начинается сводъ называются его *пятами:* иногда сводъ начинается прямо у земли, тогда нѣтъ устоевъ.

Стѣна построенная на сводѣ въ плоскости его щеки есть *надсводная стѣна* (spandrill wall). На мостовой аркѣ должно быть двѣ такихъ стѣны по одной у каждой щеки моста: пространство между ними наполняется до нѣкоторой высоты каменною кладкою, называемой *забуткою*, и потомъ землею или пескомъ; иногда устроиваютъ тутъ нѣсколько надсводныхъ стѣнокъ, параллельныхъ наружнымъ стѣнкамъ, пространства между ними остаются пустыми — такое устройство увеличиваетъ устойчивость строенія и облегчаетъ его. Для поддержанія мостоваго пола, пространства между стѣнками покрываются большими лещадками или малыми сводами опирающимися на надсводныя стѣнки; крайнія стѣнки будутъ служить крайними устоями этихъ сводовъ и должны быть довольно крѣпки для выдержанія ихъ распора. Когда пространство между стѣнками надъ сводомъ наполнено землею или хрящемъ, то стѣнки ущекъ должны быть довольно сильны для того, чтобы сопротивляться давленію этихъ матеріаловъ.

277. Кладка сводовъ. Забутка. Въ сводахъ употребляется крупный или мелкій тесаный камень; постели рядовъ совершенно или почти перпендикулярны къ направленію распора, дѣйствующаго въ сводѣ; боковыя грани или заусенки перпердикулярны къ постелямъ и къ внутренней поверхности свода. Въ обыкновенныхъ или *прямыхъ сводахъ* (square arches), которыхъ ось перпендикулярна къ щекамъ, постели камней или клиньевъ суть плоскости; въ

косыкъ сводахъ (skew arches) это кривыя поверхности, которыхъ форма будетъ указана въ послѣдствіи.

Во всѣхъ другихъ отношеніяхъ кладка сводовъ производится подобно обыкновенной каменной кладкѣ по правиламъ § 242 и 243: надобно только чтобы постели были вѣрно обтесаны и тщательно уложены, швы должны быть очень тонки для того чтобы форма свода менѣе изказилась при осадкѣ. Нѣкоторые строители предлагали класть своды на сухо и потомъ наливать въ швы жидкій растворъ или известковое молоко, но преимущества этого способа сомнительны; другіе строители прокладывали въ швахъ свинцовые листы для лучшаго разпредѣленія давленія.

Забутка надъ сводомъ (backing) можетъ быть изъ мелкаго тесанаго камня или бута положеннаго рядами. Когда внѣшняя поверхность клиньевъ свода обдѣлана ступенями, то забутка дѣлается рядами, которыхъ высота равна высотѣ ступеней и такимъ образомъ связывается со сводомъ.

Иногда забутку дѣлаютъ расходящимися рядами, которыхъ постели суть продолженія швовъ свода. Какъ тотъ такъ и другой способъ хороши относительно крѣпкости и устойчивости свода.

Высота, до которой должна доходить забутка, опредѣляется правилами, изложенными въ послѣдующихъ параграфахъ.

Верхняя поверхность забутки и та часть арки, которая у ключа остается безъ забутки, покрываются слоемъ непроницамеаго водою матеріала, каковы глиняная смазка (§ 206); цементъ (§ 231), или смолистый бетонъ (§ 234); послѣдній лучше всего. Дождевая вода, которая попадаетъ на сводъ, стекаетъ по такой кровлѣ къ низшимъ ея частямъ, откуда вода отводится трубами или другими средствами смотря по обстоятельствамъ.

278. **Кирпичные своды** могуть быть устроиваемы изъ *клиноваго кирпича*, который формуется или обтесывается на подобіе клина, соотвѣственно радіусу внутренней поверхности свода или изъ обыкновеннаго кирпича. Въ первомъ случаѣ правила перевязки тѣже, что и въ простой кирпичной кладкѣ (§ 255); въ послѣднемъ случаѣ постельные швы дѣлаются у внутренней поверхности свода тоньше нежели у внѣшней; при очень крутыхъ сводахъ у внѣшней поверхности въ швы закладываютъ листы глинистаго

сланца. Есть разные способы перевязки въ такихъ кирпичныхъ сводахъ: обыкновенно составляютъ сводъ изъ ряда колецъ толщиною въ полкирпича; въ сущности это ложковая кладка и тутъ расчитываютъ на сцѣпленіе раствора для связи кольцевыхъ кладокъ, поэтому она хороша въ томъ только случаѣ, когда крѣпкость раствора одинакова съ крѣпкостью кирпича. Другой способъ состоитъ въ томъ чтобы прокладывать по временамъ тычки для связи двухъ лежащихъ одинъ надъ другимъ полукирпичныхъ колецъ: при этомъ въ швы верхняго кольца закладываютъ листы сланца, чтобы число кирпичей въ немъ было такое же какъ и въ нижнемъ кольцѣ, или размѣщаютъ связывающіе тычки на такихъ разстояніяхъ, чтобы между ними могло помѣститься въ верхнемъ кольцѣ однимъ кирпичемъ больше нежели въ нижнемъ. Первое употребительно въ пологихъ, второе въ крутыхъ сводахъ.

Желѣзныя связи кладутся въ сводахъ поперегъ ихъ между полукирпичными кольцами, а также по направленію радіусовъ и увеличиваютъ крѣпкость свода.

Послѣднія связи могутъ быть согнуты и продолжены въ забутку. При помощи желѣзныхъ связей Брюнель сынъ построилъ кирпичную полуарку на крѣпкомъ цементѣ, выступавшую на 60 футъ отъ устоя въ видѣ кронштейна; она держалась до тѣхъ поръ пока фундаментъ устоя не разрушился.

279. Кружала есть временное деревянное строеніе, иногда желѣзное, поддерживающее клинья свода во время его постройки. Законы крѣпкости и устойчивости, а также правила ихъ постройки изложены будутъ въ главѣ о деревянныхъ строеніяхъ.

Кружала состоятъ изъ фермъ или ребръ, располагаемыхъ въ разстояніи 5 или 6 футъ одно отъ другаго; верхняя линія каждаго ребра параллельна внутренней поверхности поддерживаемаго свода и на нее кладется рядъ поперечныхъ досокъ или брусьевъ составляющихъ *палубу*, на которую уже ложатся непосредственно клинья свода.

Самый старый и наиболѣе употребительный родъ кружалъ тотъ, при которомъ они могутъ быть опущены вдругъ посредствомъ вынутія или выбиванія клиньевъ изъ подъ нихъ; они тогда отдѣляются разомъ отъ свода.

Въ усовершенствованныхъ кружалахъ, употребленныхъ впервые Гартлеемъ, каждая доска или каждый брусъ па-

лубы поддержанъ особымъ клиномъ, который можетъ быть вынутъ отдѣльно отъ другихъ и вставленъ если бы осадка свода оказалась слишкомъ быстра.

Недолжно вынимать кружала раньше устройства забутки и усышки раствора; если устроеваемый сводъ принадлежитъ къ ряду сводовъ, опирающихся на промежуточные быки, то не должно вынимать кружалъ изъ подъ однаго какого нибудь свода и оставлять быкъ подверженнымъ давленію съ одной стороны, изключая того случая, когда это устой, могущій выдержать давленія съ одной стороны.

280. Линія давленія въ сводѣ. Если въ каждомъ постельномъ швѣ свода провести прямую, которая изображаетъ положеніе и направленіе давленія въ этомъ швѣ, то рядъ такихъ прямыхъ линій образуетъ многоугольникъ; вершина каждаго угла этаго многоугольника находится на линіи дѣйствія равнодѣйствующей внѣшнихъ давленій на клинъ находящійся между швами, которымъ принадлежатъ стороны угла; поэтому многоугольникъ похожъ на многоугольную ферму, подверженную въ углахъ такимъ силамъ, какія дѣйствуютъ на клинья свода, со включеніемъ ихъ сообственнаго вѣса. Кривая вписанная въ многоугольникѣ касательно ко всѣмъ его сторонамъ есть *линія давленія* въ сводѣ. Чѣмъ мельче клинья свода, тѣмъ ближе многоугольникъ подходитъ къ кривой линіи; линія эта представляетъ *линейную арку*, уравновѣшенную подъ дѣйствіемъ непрерывно-распредѣленныхъ силъ, дѣйствующихъ въ сводѣ. Такъ какъ эта линейная арка очень близко подходитъ къ многоугольнику, котораго стороны проходятъ чрезъ центры сопротивленія постельныхъ швовъ, то точки, въ которыхъ эта линейная арка пересѣкаетъ швы, могутъ быть приняты безъ чувствительной ошибки за центры сопротивленія.

Для благонадежной устойчивости свода нужно чтобы ни одинъ изъ швовъ не могъ раскрыться ни съ внутренней ни съ внѣшней стороны свода; а для этаго центръ давленія не долженъ отстоять отъ центра шва далѣе одной шестой доли его длины или иначе центръ сопротивленія долженъ быть въ *средней трети* длины шва. Изъ этаго слѣдуетъ

Теорема. Устойчивость свода благонадежна, когда линейная арка, уравновѣшенная при силахъ, дѣйствующихъ въ сводѣ, можетъ быть вычерчена въ средней трети тол-

щины свода. Только при выполненіи этаго условія законы устойчивости линейныхъ арокъ, изложенные въ §§ 132—139, прилагаются къ каменнымъ и кирпичнымъ сводамъ.

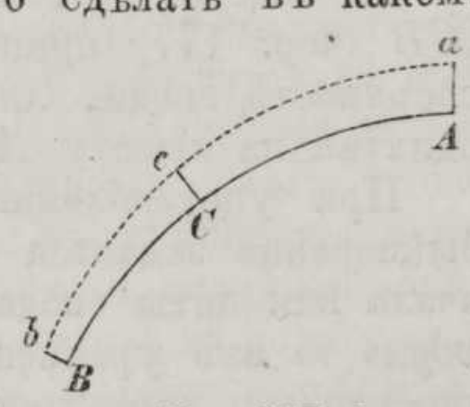
Въ большей части случаевъ, встрѣчающихся на практикѣ, вязкость свѣжаго раствора недостаточна для поддержанія устойчивости каменной кладки, и потому всѣ сопряженныя какъ горизонтальныя такъ и наклонныя силы, поддерживающія равновѣсіе въ сводѣ, должны быть давленія, дѣйствующія извнѣ внутрь. Линейныя арки по этому могутъ быть въ такихъ случаяхъ только тѣхъ формъ, которыя уравновѣшиваются только при внѣшнихъ давленіяхъ; то есть единичная величина горизонтальнаго или сопряженнаго давленія, означенная буквою p_y въ уравненіи (4) § 138 ни въ какой точкѣ не должна быть отрицательная.

Есть своды въ которыхъ центры давленія въ швахъ выходятъ изъ предѣловъ средней трети швовъ, но устойчивость этихъ сводовъ не благонадежна или по краней мѣрѣ не была надежна, когда растворъ былъ еще сыръ.

Когда для сопротивленія горизонтальнымъ или наклоннымъ вытягиваніямъ придается вязкость надсводной кладкѣ въ швахъ между ею и клиньями свода посредствомъ раствора, желѣзныхъ связей и другими способами, тогда сопряженное вытягиваніе — p_y никогда не должно превосходить нѣкоторой части этой вязкости, а именно должно быть неболѣе осьмой ея доли. Этими способами можно придать устойчивость своду не свойственной ему формы, но такія строенія надежны только тогда, когда они очень малы.

281. Отношеніе линейной арки къ внутренней поверхности свода. Есть много случаевъ, въ которыхъ форма линейной арки, пригодная для поддержанія даннаго груза, можетъ быть съ достаточною точностью принята за направляющую внутренней поверхности свода при томъ же грузѣ. Вотъ средство узнать можно ли это сдѣлать въ какомъ нибудь данномъ случаѣ.

Пусть ACB (чер. 177) есть половина линейной арки, которую намѣрены принять за направляющую внутренней поверхности свода. Проведите нормальную къ этой кривой въ ключѣ свода A, и отложите по ней длину Aa равную двумъ третямъ



Чер. 177.

предполагаемой толщины свода въ ключѣ; представьте себѣ что на ключь свода дѣйствуетъ пара, состоящая изъ натянутости въ точкѣ A равной и противоположной распору арки въ этой точкѣ, и изъ распора въ точкѣ a. Проведите нормальную въ началѣ арки B, длину $B\,b$ назначьте по пропорціи.

$$\frac{\text{B}\,b}{\text{A}\,a} = \frac{\text{распоръ арки въ A}}{\text{распоръ арки въ B}}$$

и представьте себѣ новую пару, моментомъ равную первой и состоящую изъ натянутости въ B и распора въ b. Двѣ эти пары равныя и противоположныя не измѣняютъ равновѣсія, а переносятъ только линію давленій съ линейной арки или направляющей ACB на линію $a\,c\,b$, которой нормальное разстояніе $C\,c$ отъ внутренней поверхности свода обратно пропорціонально распору, дѣйствующему вдоль арки въ каждой точкѣ. Если линія $a\,c\,b$ помѣщается въ средней трети толщины свода, то линейная арка ACB можетъ служить направляющею внутренней его поверхности.

Можно начать съ того что назначить $B\,b$ не менѣе одной трети толщины свода въ пятахъ; толщина эта опредѣляется, какъ будетъ потомъ объяснено, сообразно съ сопротивленіемъ матеріала раздробленію.

282. Употребленіе уравновѣшенныхъ или преобразованныхъ цѣпныхъ линій. Преобразованная цѣпная линія вполнѣ описана въ § 131; принятая въ сводѣ за направляющую внутренней его поверхности, она называется *кривою равновѣсія.* Она пригодна для сводовъ, подверженныхъ одной только отвѣсной нагрузкѣ и имѣющихъ внѣшнею поверхностью горизонтальную плоскость, проходящую чрезъ *директрису* OX (чер. 114) преобразованной цѣпной линіи, или вообще поверхность, которой направляющая есть тоже преобразованная цѣпная линія, имѣющая туже директрису.

По способу § 281 при преобразованной цѣпной линіи ACB (чер. 177) принятой за направляющую внутренней поверхности свода, линія $a\,c\,b$ будетъ таже самая кривая поднятая на высоту $A\,a$.

При употребленіи преобразованныхъ цѣпныхъ линій обыкновенно задается директриса, вершина или ключь и начала или пяты свода. По этимъ даннымъ опредѣляется *модуль* m изъ уравненія (4.) § 131; отвѣсная ордината y относительно директрисы для каждой точки кривой, по дан-

ному горизонтальному разстоянію ея отъ вершины получается изъ уравненія

$$y = \frac{y_0}{2}\left(e^{\frac{x}{m}} + e^{-\frac{x}{m}}\right); \ldots\ldots\ldots (1.)$$

здѣсь y_0 есть возвышеніе директрисы надъ вершиною кривой или ключемъ свода (см. таблицу § 298.)

Прилагая къ такому своду формулы (3) § 131 надобно замѣнить *натянутость распоромъ*, а w должно означать вѣсъ квадратнаго фута отвѣсной площади между внутреннею поверхностью свода и директрисою.

Пусть напримѣръ B означаетъ отверстіе свода или разстояніе между пятами его; w_1 вѣсъ кубическаго фута каменной кладки; пусть направляющая внѣшней поверхности свода будетъ преобразованная цѣпная, которой ординаты, считаемыя отъ директрисы равны ординатамъ внутренней направляющей, умноженнымъ на дробь n; пусть наконецъ k есть отношеніе объема каменной кладки къ объему свода, такъ что $1 - k$ означаетъ объемъ пустотъ надсводной части. Тогда

$$w = n\,k\,w_1 \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Для того чтобы сводъ при дѣйствіи собственнаго своего вѣса и вѣса одной надсводной части былъ въ равновѣсіи также, какъ и по окончаніи строенія, нужно чтобы поверхность надсводной части имѣла направляющею преобразованную цѣпную линію или близко къ ней подходящую линію.

28. **Употребленіе гидростатической арки.** Математическія и механическія свойства этой кривой, какъ линейной арки, изложены въ § 136.

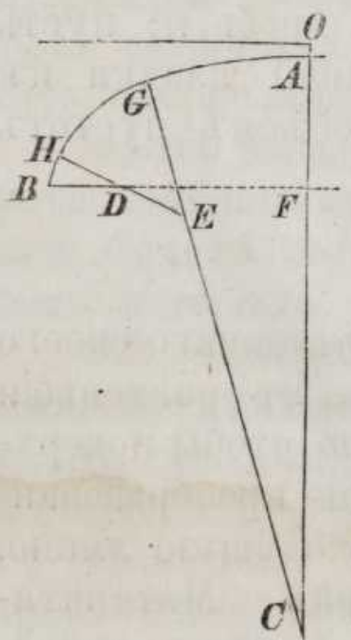
Такъ какъ распоръ въ этой аркѣ вездѣ одинаковъ, то приложеніе къ ней способа § 281 даетъ параллельную ей кривую; такъ что если принять ее за направляющую внутренней поверхности свода имѣющаго вездѣ одинакую толщину и если центръ давленія въ ключѣ находится по срединѣ его толщины, то линія давленія будетъ вездѣ или почти вездѣ проходить по срединѣ толщины свода. Слово *почти* употреблено здѣсь потому что въ дѣйствительномъ сводѣ распоръ не вездѣ одинаковъ, какъ въ линейной аркѣ; у началъ свода онъ болѣе нежели въ ключѣ на количество, равное вѣсу призмы каменной кладки, поднимающейся от-

вѣсно надъ начальнымъ швомъ; но эта разность очень незначительна въ практическомъ смыслѣ.

Употребленіе гидростатической арки для сводовъ основано на томъ, что всякій сводъ послѣ постройки садится въ ключѣ и раздается въ раменахъ или стремится раздаться, производя горизонтальное давленіе на забутку; изъ этаго заключаютъ что если своду дана форма кривой равновѣсія при давленіи жидкости, имѣющемъ равныя единичныя величины во всѣхъ направленіяхъ, то онъ будетъ раздаваться горизонтально и давить на забутку до тѣхъ поръ пока давленіе это вездѣ сдѣлается равнымъ отвѣсному, при чемъ и установится равновѣсіе.

Кривую, очень близкую къ гидростатической линіи, можно составить изъ пяти дугъ круга слѣдующимъ образомъ:

Пусть FB половина отверстія, FA выносъ или подъемъ арки; радіусы кривизны у ключа и въ пятахъ опредѣляются по формуламъ (11) и (12) § 136 и откладываются отъ A до C и отъ B до D; точки D и C будутъ центрами средней и крайней дугъ; для отсканія центра промежуточной дуги берутъ въ цыркуль разность $FA - BD$ и описываютъ ею дугу изъ центра D; изъ C описывается дуга радіусомъ CF; пересѣченіе этихъ дугъ даетъ точку E центръ промежуточной дуги. Формуламъ (11 и 12) § 136 можно дать видъ



Чер. 178.

$$\varrho_0 = \frac{a}{2}\left(1 + \frac{b^3}{a^3}\right);\ \varrho_1 = \frac{a}{2}\left(1 + \frac{a^3}{\beta^3}\right)$$

Изъ точки C какъ центра описывается радіусомъ CA дуга круга до пересѣченія ея въ G съ прямою CE; изъ центра E радіусомъ EG описывается дуга до пересѣченія въ H съ прямою DE; наконецъ изъ центра D дуга HB радіусомъ DH.

Кривая эта отличается отъ гидростатической линіи тѣмъ, что точка G падаетъ нѣсколько внѣ ея, а H входитъ внутрь.

Для того чтобы дать своду, построенному на гидростатической линіи наибольшую благонадежность, особенно если ширина отверстія очень велика сравнительно съ выносомъ, надобно вывесть забутку свода вплоть до уровня внѣшней поверхности свода въ ключѣ прежде, нежели сняты кружала.

Многія такъ называемыя *полу-эллиптическія арки* могутъ быть разсматриваемы какъ гидростатическія, потому что болѣе къ нимъ близки, нежели къ дѣйствительному полуэллипсу. Кривизна послѣдняго въ ключѣ и пятахъ нѣсколько болѣе, а въ раменахъ менѣе нежели въ гидростатической линіи, и площадь полуэллипса менѣе площади гидростатической линіи.

284. Употребленіе геостатической арки. Эта линія есть преобразованная гидростатическая; преобразованіе ея и главныя свойства изложены въ § 137. Къ сказанному тамъ надобно пребавить рѣшеніе слѣдующей задачи: даны полуширина отверстія s, подъемъ или выносъ a, и высоота x_0 нагрузки въ вершинѣ; надобно найти отношеніе c полуотверстія и всѣхъ горизонтальныхъ размѣровъ геостатической линіи къ такимъ же размѣрамъ гидростатической линіи, которой отвѣсные размѣры тѣже самые.

Сдѣлайте

$$b = a \cdot \left(\frac{x_0 + a}{x_0}\right)^{\frac{1}{3}}, \quad y_1 = b - \frac{b^2}{30\,a};$$

тогда

$$c = \frac{s}{y_1}$$

приблизительно.

Способъ этотъ прилагается къ тѣмъ полуэллиптическимъ сводамъ, которые значительно отдаляются по формѣ отъ гидростатическихъ линій.

285. Устойчивость сводовъ. При рѣшеніи вопроса будетъ ли устойчивъ проэктируемый сводъ первый пріемъ долженъ состоять въ томъ, что предполагаютъ линейную арку, параллельную внутренней поверхности свода и подверженную дѣйствію тѣхъ же отвѣсныхъ грузовъ и также расположенныхъ, какъ въ дѣйствительномъ сводѣ. Форма кривой линіи можетъ быть произвольная, надобно только чтобы каждая ея точка была подвержена дѣйствію такого же груза, какъ и соотвѣтственный шовъ свода то есть тотъ шовъ, въ которомъ наклоненіе свода къ горизонту одинаково съ наклоненіемъ къ горизонту кривой линіи въ тойже точкѣ.

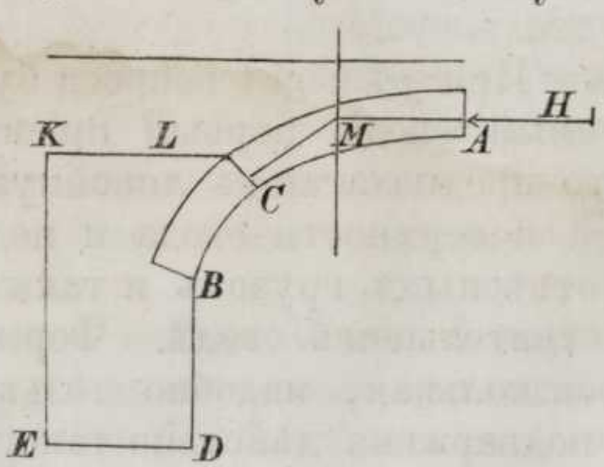
Съ этой кривой линіей надобно поступить по правиламъ § 138 и посредствомъ уравненія (4.) этаго параграфа найти или общее выраженіе или рядъ частныхъ значеній единичной величины p_y сопряженнаго давленія горизонталь-

наго или наклоннаго, нужнаго для удержанія арки въ равновѣсіи при данномъ отвѣсномъ грузѣ. Если это давленіе нигдѣ не имѣетъ отрицательнаго знака, то кривая подобная предположенной и проведенная чрезъ средину толщины свода будетъ совершенно или почти совершенно представлять линію давленія въ проэктируемомъ сводѣ; p_y будетъ представлять совершенно точно или почти точно единичную величину боковаго давленія, производимаго сводомъ на забутку или на устои, когда онъ раздается подъ дѣйствіемъ наложеннаго на него груза; распоръ вдоль линейной арки въ каждой ея точкѣ будетъ равенъ распору свода въ соотвѣтственномъ швѣ.

Съ другой стороны если p_y получаетъ отрицательныя значенія, то въ аркѣ должна быть пара точекъ, въ которыхъ совершается переходъ отъ положительныхъ значеній къ отрицательнымъ и гдѣ эта величина есть нуль.

Уголъ i_0 наклоненія арки въ этой точкѣ есть *уголъ перелома* и опредѣляется рѣшеніемъ IV задачи § 138; соотвѣтственные швы свода суть *швы перелома*, и ниже этихъ швовъ для удержанія свода въ равновѣсіи нужно сопряженное давленіе снаружи и слѣдовательно забутка тутъ должна быть изъ камней съ обтесанными заусенками.

Пусть BCA (чер. 179.) представляетъ половину симметрическаго свода, $KLDE$ устой, а C шовъ перелома найденный по указанному выше способу. Точка перелома или центръ сопротивленія въ швѣ перелома находится гдѣ нибудь въ средней трети толщины свода; начиная отъ этой точки до начальнаго шва свода B линія давленій есть кривая подобная предположенной линейной аркѣ и параллельна внутренней поверхности свода, она удерживается въ равновѣсіи боковымъ давленіемъ между сводомъ съ его забуткой и устоемъ.



Чер. 179.

Отъ точки перелома C до ключа A, форма линіи давленія опредѣляется по тому условію, что это должна быть линейная арка, уравновѣшенная только подъ дѣйствіемъ отвѣснаго груза; то есть горизонтальная составляющая распора вдоль арки въ каждой ея точкѣ имѣетъ постоянную величину,

равную горизонтальной составляющей продольнаго распора свода въ швѣ перелома.

Этотъ горизонтальный распоръ свода опредѣляется рѣшеніемъ 4й задачи § 138 и есть горизонтальный распоръ всего свода. — Въ случаѣ ползучей или скошенной арки горизонтальный распоръ замѣняется сопряженнымъ.

Единственная точка линіи давленія выше точекъ перелома, которой опредѣленіе имѣетъ важность есть вершина ея A и ее находятъ слѣдующимъ образомъ.

Найдите центръ тяжести груза между швомъ перелома C и ключемъ A, проведите чрезъ этотъ центръ отвѣсную линію.

Теперъ если возможно чрезъ какую нибудь точку M этой отвѣсной линіи провести двѣ прямыя параллельныя касательнымъ къ внутренней поверхности свода въ ключѣ и у шва перелома и если эти прямыя пересѣкаютъ ключь и шовъ перелома въ предѣлахъ средней трети толщины свода, то устойчивость свода благонадежда; если точка на швѣ есть точка перелома, то точка въ ключѣ будетъ вершина кривой давленія.

Если найденныя такимъ образомъ точки не падаютъ на противоположные предѣлы средней трети толщины свода, то точное ихъ положеніе до нѣкоторой степени неопредѣленно; на эта неопредѣленность не имѣетъ практической важности. Самыя вѣроятныя ихъ мѣста находятся въ равныхъ разстояніяхъ отъ средней линіи толщины свода.

Если бы точки падали внѣ средней трети толщины свода, то толщину эту надобно было бы увеличить.

286. Дуга круга не меньшая четверти окружности. Прилагая правила предъидущаго параграфа къ своду, котораго внутренняя поверхность есть дуга круга надобно измѣнить уравненія (9 и 11) § 138 4й примѣръ для того, чтобы принять въ расчетъ вѣсъ данной части свода, отдѣльно отъ матеріала на ней лежащаго.

Въ круговомъ сводѣ съ горизонтальной надстройкой назовемъ r радіусъ внутренней поверхности, r' радіусъ внѣшней поверхности свода, имѣющаго вездѣ одинакую толщину; c высоту надстройки надъ ключемъ свода, w вѣсъ кубическаго фута камня; w' средній вѣсъ кубическаго фута надстройки со включеніемъ пустотъ, онъ почти вдвое меньше w.

Опредѣленіе угла перелома i_0 завшить отъ рѣшенія уравненія

$$0 = \left\{\frac{w'}{w}(1-\cos i_0) + \left(1-\frac{w'}{w}\right)\frac{i_0 - \cos i_0 \sin i_0}{2\sin^3 i_0}\right\} r'^2$$

$$+ \frac{w'}{w} c r' - \frac{i_0 - \cos i_0 \sin i_0}{2\sin^3 i_0} r^2; \ldots\ldots (1.)$$

Горизонтальный распоръ на единицу длины свода будетъ

$$H_0 = w' r'^2 \left\{\left(1+\frac{c}{r'}\right)\cos i_0 - \frac{\cos^2 i_0}{2} - \frac{i_0 \operatorname{cotan} i_0}{2}\right\}$$

$$+ w(r'^2 - r^2)\frac{i_0 \operatorname{cotan} i_0}{2} \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Уравненію (1.) данъ лучшій для приложенія къ дѣлу видъ, а именно видъ квадратнаго уравненія между количествами r^1, r и c, съ коефицентами зависящими отъ угла i_0 и относительной вѣскости свода и забутки.

Величину угла i_0 можно опредѣлить по даннымъ r', r и $c\frac{w_1}{w}$ только рядомъ подстановленій; но если сдѣлать какое нибудь предположеніе для i_0, то каждая изъ величинъ r', r, c или $\frac{w'}{w}$ можетъ быть точно опредѣлена рѣшеніемъ квадратнаго уравненія.

Задача. *Радіусъ r внутренней поверхности свода, высота c горизонтальной надстройки надъ вершиною свода даны, найти радіусъ r' внѣшней поверхности свода при данномъ углѣ перелома* i_0. Неизвѣстная r' опредѣляется рѣшеніемъ уравненія (1.), которому можно дать видъ.

$$A r'^2 + \frac{w'}{w} c r' - B r^2 = 0$$

изъ котораго

$$r' = \sqrt{\left(\frac{B}{A} r^2 + \frac{w'^2 c^2}{4 w^2 A^2}\right)} - \frac{w' c}{2 w A} \ldots\ldots\ldots (3.)$$

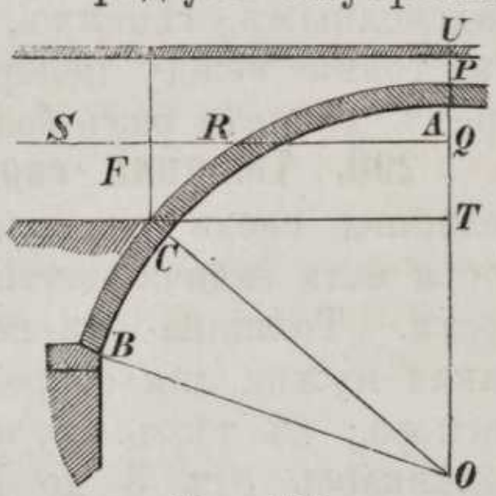
Въ большей части сводовъ, построенныхъ по дугѣ круга уголъ перелома заключается между 45^0 и 55^0; такъ что если вывести забутку изъ тесанаго камня до той точки свода, гдѣ внутренняя его поверхность имѣетъ къ горизонту наклоненіе въ 45^0, то этого будетъ оченъ достаточно.

Далѣе оказывается что слѣдующее практическое правило для опредѣленія горизонтальнаго распора даетъ погрѣшность не болѣе одной двадцатой доли этаго распора.

Горизонтальный распоръ почти равенъ грузу, лежащему между ключемъ и тою точкою внутренней поверхности свода, которой уголъ наклоненія къ горизонту равенъ 45^0; алгебрическими знаками это выражается такъ

$$H_0 = w' r' (0.0644\, r' + 0.7071\, c) + 0.3927\, w (r'^2 - r^2) \ldots . (4.)$$

На чертежѣ 180 ACB есть половина свода начертаннаго на дугѣ круга, O центръ, OA радіусъ внутренней поверхности свода, UV поверхность надстройки; тутъ $OA = r$, $OP = r'$, $PU = c$; AOF есть половина прямаго угла; горизонтальный распоръ почти равенъ вѣсу каменной кладки $ACFVU$ между швомъ CF и ключемъ свода. До точки F должно выводить забутку изъ тесанаго камня или такъ ее устроивать, чтобы она могла выдерживать и передавать горизонтальное давленіе.



Чер. 180.

287. Устойчивость не нагруженнаго свода. Прежде нежели сняты кружала, надсводныя стѣнки или забутка должны быть доведены до такой высоты, чтобы часть свода у ключа, которая остается нѣкоторое время безъ нагрузки, удовлетворяла условію устойчивости, по которому линія давленія должна быть въ средней трети толщины свода. Точное изслѣдованіе этаго вопроса очень сложно, для практическаго же употребленія можно довольствоваться слѣдующимъ правиломъ:

Пониженіе низшей точки внѣшней поверхности не нагруженнаго свода подъ высшею точкою этой поверхности должно быть среднею пропорціональною величиною между толщиною свода и радіусомъ внутренней его поверхности.

Алгебрически это выразится такъ (чер. 180.)

$$PQ = \sqrt{PA \cdot AO} = \sqrt{r' r - r^2}; \ldots . (1.)$$

горизонтальноя линія QRS проведенная чрезъ опредѣленную такимъ образомъ точку Q будетъ уровнемъ до кото-

раго должны быть выведены надсводныя стѣнки или забутка до снятія кружалъ.

288. **Дуга круга меньшая четверти окружности.** Правила предъидущихъ параграфовъ прилагаются къ этому случаю точно также какъ ихъ тому, когда дуга круга болѣе четверти окружности; но для вычисленія горизонтальнаго распора достаточно вѣсъ полусвода съ надстройкой умножить на котангенсъ угла наклоненія къ горизонту внутренней поверхности свода у его пятъ.

289. **Поперечныя надсводныя стѣнки** (tie walls) выводятся въ направленіи перпендикулярномъ къ продольнымъ надсводнымъ стѣнкамъ, которыя параллельны щекамъ свода. Разстояніе между поперечными стѣнками можетъ быть отъ трехъ до пяти разъ болѣе разстоянія продольныхъ стѣнокъ.

290. **Толщина свода въ ключѣ.** Точное опредѣленіе толщины свода въ ключѣ на основаніи законовъ устойчивости есть задача почти неразрѣшенная по причинѣ ея сложности. Толщина эта всегда въ нѣсколько разъ болѣе той, какая нужна для сопротивленія раздробленію отъ дѣйствія распора; въ тѣхъ случаяхъ когда ее вычисляли отношеніе измѣнялось отъ 3 до 70. Меньшій изъ этихъ коефицентовъ можно считать слишкомъ малымъ, наибольшій слишкомъ великимъ, лучшіе коефиценты будутъ средніе между 20 и 40.

Самое удобное на практикѣ средство есть назначеніе толщины свода по эмпиричикому правилу, выведному изъ сравненія размѣровъ существующихъ мостовъ. Вотъ подобное правило:

Чтобы найти толщину свода въ ключь возмите среднюю пропорціональную величину между радіусомъ внутренней поверхности своди у ключа и постояннымъ количествомъ, которое для одиночнаго свода равно 0,12 а для ряда сводовъ 0.17.

Алгебрически это выражается уравненіями:

Для одиночнаго свода

$$e = \sqrt{0.12\,r} \ldots\ldots (1.)$$

для ряда сводовъ

$$e = \sqrt{0.17\,r} \ldots\ldots (2.)$$

здѣсь e есть толщина свода въ ключѣ, r радіусъ кривизны внутренней поверхности свода у ключа.

Вотъ примѣры.

ОДИНОЧНЫЯ АРКИ.	РАДІУСЪ. У ключа.	ТОЛЩИНА СВОДА. по вычисл.	ТОЛЩИНА СВОДА. въ строеніи.
Мостъ чрезъ Севернъ въ Глочестерѣ, стр. Тельфордъ, арка элиптическая отверстіе 150 ф., выносъ 35 ф.	160.7	4.39	4.5
Мостъ чрезъ Дору Рипарію въ Туринѣ, стр. Моска; дуга круга; отверстіе 147.6, выносъ 18 ф.	160	5.38	4.9
Гросвенорскій мостъ черезъ Ди въ Честерѣ, стр. Гартлей и Гарисонъ; дуга круга; отверстіе 200 ф., выносъ 42 ф.	140	4.1	4.0
РЯДЪ АРОКЪ.			
Мостъ черезъ Темзу у Майденгеда, стр. Брюнель сынъ; арка почти элиптическая; отверстіе 128 ф. выносъ 24.25	169	5.36	5.25
Лондонскій мостъ, стр. Джонъ Ренни; элиптическая арка; отверстіе 152 ф.	162	5.25	5.00
Нельискій мостъ, стр. Пероне; коробовая линія; отверстіе 128 футъ, выносъ 32 ф. . . .	159	5.20	5.13
Вестерлоскій мостъ, стр. Ренни; элиптическая арка; отверстіе 120 ф., подъемъ 32 ф.	112.5	4.37	5.00
Балокмайльскій мостъ черезъ Эйръ, стр. Миллеръ; полу круглая арка отвертіе 181 ф., подъемъ 90.5	90.5	3.92	4.5
Путепроводъ черезъ долину Узъ полукруглыя арки, отверстіе 30 ф. подъемъ 15 ф.	15	1.14	1.5

Изъ приведенныхъ примѣровъ видно что законъ, опредѣляющій толщину свода, основанъ преимущественно на

необходимости предупредить отклоненія линіи давленія отъ нормальнаго ея положенія въ случаѣ частныхъ временныхъ нагрузокъ; такіе посторонніе грузы на большихъ сводахъ по сравненію съ вѣсомъ ихъ гораздо менѣе, нежели на малыхъ сводахъ и потому толщина свода возрастаетъ не въ такой быстрой пропорціи какъ радіусъ внутренней его поверхности, а именно пропорціонально корню квадратному изъ этаго радіуса.

Вѣроятность, что толщина свода опредѣляется подобнымъ правиломъ, можетъ быть выведена изъ уравненія 38 A § 180. Полагая что по причинѣ малой вязкости раствора, вѣсъ свода, означенный w_0, не производитъ сгиба, что равносильно отброшенію члена содержащаго B, надобно дать толщинѣ свода h такую величину, чтобы натянутость p_1' была нулемъ и разсматривать арку, какъ гибкую только между швами перелома. Это послѣднее условіе дѣлаетъ подъемъ гибкой части свода пропорціональнымъ его радіусу кривизны, напримѣръ равнымъ nr, тогда упомянутое уравненіе принимаетъ видъ

$$0.138\,\frac{w}{w_0\,q'\,h}-\frac{1}{n\,r}=0.$$

Но q' равно $1:6$, а $w:w_0$ выражаетъ отношеніе единичной величины внѣшняго груза къ вѣсу свода и можетъ быть замѣнено отношеніемъ $h':h$, гдѣ h есть толщина свода, а h' толщина матеріала, изъ котораго сложенъ сводъ, при вѣсѣ равномъ постороннему грузу. Уравненіе обращается тогда въ

$$0.828\,\frac{h'}{h^2}-\frac{1}{n\,r}=0;\ \text{или}\ h^2=0.828\,n\,h'\,r;\ \ldots\ldots\ (3.)$$

то есть *при одинакихъ внѣшнихъ нагрузкахъ, и одинакихъ углахъ перелома квадратъ толщины свода измѣняется пропорціонально радіусу внутренней поверхности свода;* законъ этотъ согласенъ съ выведеннымъ изъ практики правиломъ. Коефиценты 0.12 и 0.17 въ уравненіяхъ (1 и 2) соотвѣтствуютъ предстоящему 0.828 nh' уравненія (3.) Необходимость принимать бо́льшій коефицентъ для ряда сводовъ нежели для одиночнаго свода происходитъ вѣроятно отъ того, что если въ ряду сводовъ одинъ изъ нихъ нагруженъ, а сосѣдніе свободны, то быки наклоняются въ сто-

рону свободныхъ сводовъ и швы перелома отъ того понижаются.

291. Устои расходящимися рядами составляютъ по настоящему продолженіе свода; это лучшій способъ ихъ устройства на твердомъ основаніи и при умѣренной высотѣ началъ свода надъ фундаментомъ. Примѣръ такой постройки представляетъ Гросвенорскій мостъ въ Честерѣ. Лицо устоя есть продолженіе внутренней поверхности свода, а задъ его продолженіе верхней поверхности забутки, которая выведена расходящимся рядами; съ боковъ обыкновенно скрываютъ эту наклонную кладку облицевывая щеки устоя каменною кладкою съ горизонтальными и отвѣсными швами.

292. Отвѣсные устои подчиняются относительно устойчивости тѣмъ же правиламъ какъ и опорныя стѣны; правила эти изложены въ § 263 и 264.

Въ особенности надобно стараться, если забутка производитъ горизонтальный распоръ, чтобы верхняя часть устоя выше началъ свода имѣла довольно вѣсу для сопротивленія треніемъ дѣйствію этого распора; чтобы поверхъ той постели, которая непосредственно ниже пятъ свода, лежало такое количество матеріала, которое вмѣстѣ съ вѣсомъ полусвода и его нагрузкой, производило треніе достаточное для сопротивленія горизонтальному распору какъ свода, такъ и забутки; наконецъ чтобы центръ сопротивленія въ основаніи устоя не отходилъ отъ центра фигуры далѣе нѣкоторой части толщины устоя, выражаемой дробью q (§ 263 и 179).

Очень выгодно какъ въ отношеніи устойчивости, такъ и экономіи, устроивать устои съ пустотами, прорѣзывающими ихъ перпендикулярно къ поддерживаемому ими своду; подъ пустотами должны быть въ фундаментѣ опрокинутые своды для распредѣленія груза на большую площадь. Пустоты эти могутъ составлять около одной трети всего объема устоя и могутъ быть покрыты сводами.

Когда шовъ перелома, какъ на чертежѣ 179, есть C, то часть свода ниже этаго шва, вмѣстѣ съ забуткою и съ лежащимъ непосредственно на ней грузомъ, можетъ быть разсматриваема какъ часть устоя.

Въ нѣкоторыхъ хорошо устроенныхъ мостахъ толщина устоя заключается между одною пятою и одною третью радіуса кривизны у ключа.

293. Быки сводовъ. Каждый изъ быковъ ряда сводовъ долженъ имѣть достаточную устойчивость для того чтобы выдержать распоръ, дѣйствующій на него тогда, когда только на одномъ изъ поддерживаемыхъ имъ сводовъ, находится временный грузъ. Величину этаго распора можно опредѣлить приблизительно умноженіемъ нагрузки однаго погоннаго фута на радіусъ кривизны свода въ ключѣ.

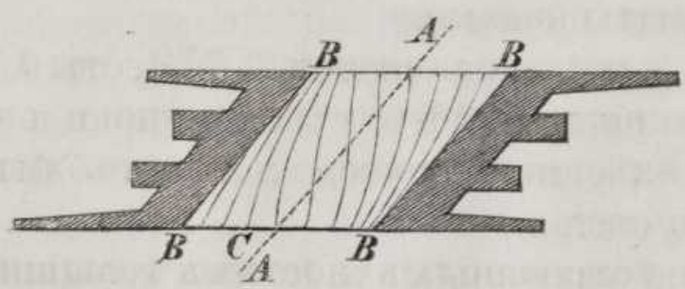
Толщина каждаго быка должна быть такова, чтобы на немъ могли помѣститься пяты обоихъ сводовъ.

Вычисленная по одному изъ этихъ правилъ толщина быка обыкновенно менѣе той, которую имъ даютъ на дѣлѣ и которая бываетъ отъ одной десятой до одной четверти ширины отверстія свода: послѣдній размѣръ дается среднимъ устоямъ или толстымъ быкамъ (abutment-pier); обыкновенная же толщина быковъ назначается между одною седьмою и одною шестою ширины отверстія.

Быки, какъ и устои, могутъ быть облегчены, особенно если они высоки, оставленіемъ въ нихъ пустотъ или устройствомъ въ нихъ поперечныхъ сводовъ: подъ пустотами должны быть обратные своды.

294. Цѣпи въ сводахъ, устояхъ и быкахъ. Сводъ можетъ имѣть не по всей своей длинѣ одинакую толщину, а состоять изъ ребръ большой толщины, между которыми помѣщена болѣе тонкая кладка; также точно можно дѣлать устои и быки. При этомъ бываетъ сбереженіе матеріала, но работы больше.

295. Косые своды имѣютъ форму, которая производится отъ прямаго свода скашиваніемъ его въ плоскости горизонтальной. Такъ какъ размѣры щеки косаго свода и каждаго его сѣченія отвѣсною плоскостью параллельною щекѣ одинаковы съ размѣрами щеки и параллельныхъ ей сѣченій прямаго свода, то силы дѣйствующія въ отвѣсномъ слоѣ косаго свода и его устоевъ одинаковы съ силами, дѣйствующими въ слоѣ прямаго свода той же толщины, если прямой сводъ имѣетъ тѣже размѣры и туже нагрузку.

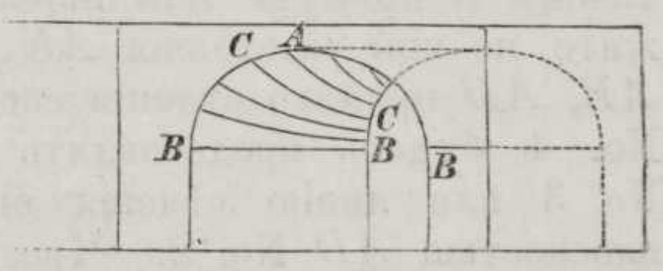


Чер. 181.

Чертежъ 181 представляетъ планъ косаго свода съ устоями, имѣющими контрфорсы. *Уголъ косины* или наклоненія

этого свода есть уголъ, который составляетъ ось свода AA съ линіею перпендикулярною къ щекѣ BB. *Прямая ширина* отверстія (span on the square) есть перпендикулярное разстояніе между устоями и оно менѣе нежели *косая ширина* (span on the skew) или разстояніе по направленію параллельному щекѣ и относится къ ней, какъ косинусъ угла косины къ единицѣ. Косая ширина отверстія свода равна ширинѣ отверстія соотвѣтственнаго ему прямаго свода.

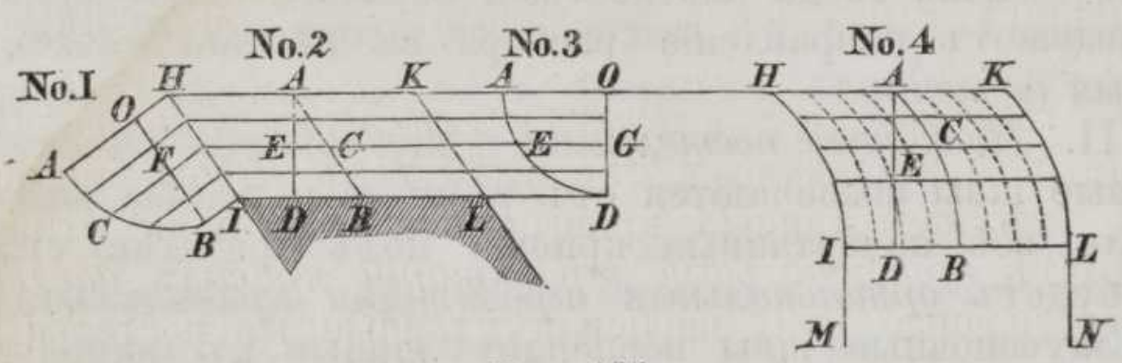
Лучшее положеніе постельныхъ швовъ есть перпендикулярное къ распору, дѣйствующему въ сводѣ. Слѣдовательно если на внутренней поверхности свода вычертить рядъ кривыхъ линій сѣченія ея отвѣсными плоскостями, параллельными его щекѣ, то постельные швы опредѣляются рядомъ кривыхъ линій, начертанныхъ на внутренней поверхности свода, перпендикулярно къ кривымъ перваго ряда, таковы линіи CC на чертежѣ 182. По трудности вычертить эти кривыя, на дѣлѣ предпочитаютъ имъ спиральныя линіи, къ нимъ приближающіяся.



Чер. 182.

До приступа къ постройкѣ косаго свода, надобно вычертить въ большомъ масштабѣ внутреннюю его поверхность для того, чтобы опредѣлить форму и положеніе каждаго клина; чертежъ этотъ долженъ представлять поверхность свода, *развернутою* на плоскости. Довольно вычертить одну половину этой поверхности, другая совершенно съ нею сходна. Вотъ какъ составляется чертежъ:

I. *Начертаніе развертанія внутренней поверхности свода и косаго сѣченія свода отвѣсною плоскостью.* На чертежѣ 183 No. 2 есть планъ половины косаго свода, HAK



Чер. 183.

проложеніе его вершины, *JBL* лицо однаго изъ устоевъ, прямая *ACB* есть плоскость *косаго*, *AED* плоскость *прямаго* сѣченія свода, уголъ *BAD* есть уголъ косины.

Возмите на линіи *HJ* нѣсколько точекъ и проведите черезъ нихъ линіи, параллельныя *HK*, какъ на примѣръ *CE*; и линіи перпендикулярныя къ *HJ*; проведите *OB* параллельно *HJ*, она пересѣчетъ всѣ перпендикулярныя къ ней линіи. На этой линіи *OB* надобно начертить направляющую свода *ACB* въ No. 1, это будетъ линія косаго сѣченія свода плоскостью *AB* въ No. 2. Для того чтобы вычертить прямое сѣченіе свода No. 3 проведите *OD* параллельно *AD*, и откладывайте по линіямъ параллельнымъ *JL* ординаты чертежа No. 1 отъ прямой *DO*, такъ напримѣръ сдѣлайте *GE* равнымъ *CF*.

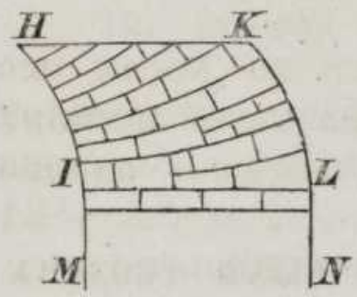
Разверзаніе строится слѣдующимъ образомъ: проведите линію вершины свода *HAK* No. 4, и черезъ одну изъ ея точекъ *A* прямую *AD* перпендикулярно къ *HK* и отложите по ней разстоянія *AE*, *AD* равныя длинамъ дугъ *AE*, *AD* прямаго сѣченія свода No. 3; тогда прямая *AED* No. 4 будетъ представлять развернутую кривую *AED* No. 3 или линію сѣченія внутренней поверхности свода плоскостью *AD* No. 2. Чрезъ точки дѣленія *AED* No. 4 проведите линіи параллельныя *HK* и отложите по нимъ разстоянія *EC*, *DB* равныя разстояніямъ *EC*, *DB* No. 2; полученная кривая *ACB* No. 4 есть развернутая кривая косаго сѣченія свода.

Проведите также кривыя *HJ*, *KL*, откладывая по одну сторону линіи *ACB* разстоянія равныя *AH*, а по другую сторону разстоянія равныя *AK*, фигура *JHKL* будетъ развернутая поверхность свода. Фигура опредѣляемая перпендикулярами *JM* и *LK* къ *JL* есть часть лицевой грани устоя. Сверхъ того надобно провести нѣсколько кривыхъ линій, параллельныхъ *ACB*; онѣ представятъ развернутыя косыя сѣченія свода плоскостями параллельными щекамъ и показываютъ направленіе распора въ каждой точкѣ: это *кривыя давленія*.

II. *Назначеніе постельныхъ и заусеночныхъ швовъ.* Постельные швы назначаются отъ руки такъ, чтобы они пересѣкали всѣ начертанныя кривыя подъ прямыми углами: это будетъ *ортогональныя траэкторіи кривыхъ давленія*.

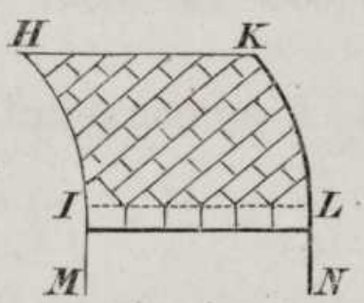
Заусеночные швы перпендикулярные къ постельнымъ суть части кривыхъ давленія (чер. 184). Ряды утолщи-

ваются къ тупому углу устоя, а къ острому становятся тоньше, такъ что у тупаго угла можно увеличить число постельныхъ швовъ, какъ это сдѣлано на чер. 184 у L. На этомъ чертежѣ постельные швы не пересѣкаютъ линіи пятъ JL, которая служитъ имъ асимптотой, это потому что касательная къ направляющей свода у его пятъ имѣетъ отвѣсное направленіе. Въ случаѣ дуги круга меньшей полуокружности и вообще кривой, имѣющей въ началахъ свода наклонную касательную, въ пятахъ надобно будетъ употреблять пятигранные камни.

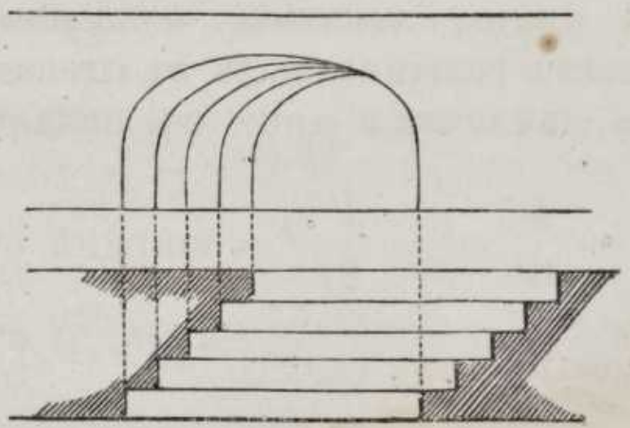


Чер. 184.

III. *Начертаніе швовъ при спиральныхъ рядахъ.* Перпендикулярно къ направленію распора въ ключѣ чертится рядъ параллельныхъ равно отстоящихъ прямыхъ, это будутъ постельные швы, а заусеночные къ нимъ перпендикулярны (чер. 185). Между J и L находятся пятиугольные камни (skew backs) которыми связываются наклонные ряды свода съ прямоугольными рядами устоя. Спиральные ряды камней перпендикулярны къ распору только въ ключѣ, а по мѣрѣ приближенія къ пятамъ становятся къ нему болѣе и болѣе наклонными.



Чер. 185.


Чер. 186.

296. Косые своды съ поясами. Вмѣсто косаго свода употребляютъ иногда рядъ прямыхъ поясовъ постепенно выступающихъ одинъ передъ другимъ (чер. 186).

При такомъ устройствѣ прямая ширина отверстія меньше прямой ширины косаго свода, котораго косая ширина таже самая. Пусть a означаетъ выступъ каждаго пояса относительно другого, b ширину пояса; уменьшеніе прямой ширины отверстія свода есть

$$\frac{a\,b}{\sqrt{a^2+b^2}} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

Если прямая ширина отверстія свода дана, то косая его ширина въ случаѣ устройства поясами равна косой ширинѣ обыкновеннаго свода, увеличенной выступомъ a однаго пояса передъ другимъ.

297. Крѣпкость каменныхъ и кирпичныхъ сводовъ. Хорошо проектированный въ отношеніи устойчивости сводъ имѣетъ всегда избытокъ крѣпкости. Впрочемъ при начертаніи свода необыкновенныхъ размѣровъ и формы или при постройкѣ свода изъ слабаго матеріала, по опредѣленіи его формы и размѣровъ согласно правиламъ устойчивости, хорошо повѣрить имѣетъ ли онъ достаточную крѣпкость. Это можно сдѣлать съ достаточною степенью точности при помощи уравненій (30, 36 и 37) § 180 посредствомъ слѣдующихъ подстановленій.

1й *Случай. При преобразованной цѣпной линіи или дугѣ круга, меньшей четверти окружности* сдѣлайте h' равнымъ толщинѣ свода въ плечахъ умноженной на косинусъ угла наклоненія арки въ началѣ свода.

$$q=\frac{1}{6},\ m'=\frac{1}{2},\ l=\text{ширинѣ отверстія},\ k=\text{подъему}$$

слѣдовательно

$$\mathrm{B}=\frac{15\,h'^2}{16\,k'^2}\left(1+\frac{16\,k^2}{3\,l^2}\right); \ldots\ldots\ldots (1.)$$

$$r'=\frac{2}{5}\cdot(1+\mathrm{B}):\left(1-\frac{h'}{4k}\right); \ldots\ldots\ldots (2.)$$

разсматривая поясъ шириною въ 1 футъ, сдѣлайте $A_1=h'$; вмѣсто w_0 поставьте постоянный грузъ полотна на квадратный футъ у ключа свода, и вмѣсто w подвижной грузъ на квадратный футъ полотна.

2й *Случай. При гидростатической, эллиптической, полукруглой дугѣ или дугѣ круга большей четверти окружности* сдѣлайте l равнымъ ширинѣ отверстія, k равнымъ подъему той части арки, которая между швами, наклоненными къ горизонту подъ угломъ въ 45^0. Въ гидростатической или эллиптической аркѣ положите h' равнымъ тол-

щинѣ свода, при дугѣ круга h' равно толщинѣ свода умноженной на 0.707, и поступайте какъ въ первомъ случаѣ.

Во всѣхъ случаяхъ опускайте членъ $\frac{l^2 w_0}{8 A_1 (1+B) k}$ и замѣняйте его отношеніемъ $H : h'$; гдѣ H есть горизонтальный распоръ найденный по правиламъ §§ отъ 132 до 138, 286 и 288 для пояса свода шириною въ одинъ футъ.

Уравненіе (37) дающее наибольшую единичную величину распора p' на квадратный футъ обращается въ

$$p_1 = \frac{H}{h'} + \frac{l^2}{2h'^2}\left\{\frac{w_0 B}{1+B} + w\left(2r_1^2 - 2r_1^3 + \frac{3}{5}r_1^4\right)\right\} \ldots\ldots (3.)$$

Если отношеніе $h' : \kappa$, а слѣдовательно и B очень малыя дроби такъ что $r_1 =$ почти $\frac{2}{5}$ то можно употребить слѣдующую формулу

$$p_1 = \frac{H}{h'} + \frac{l^2}{2h'^2}\left\{B w_0 + 0.207\, w\right\} \ldots\ldots\ldots (3\text{ а.})$$

Если на оборотъ $(1+B) : \left(1 - \frac{h'}{4\kappa}\right)$ равно или болѣе $\frac{5}{2}$, такъ что $r_1 = 1$, тогда

$$p_1 = \frac{H}{h'} + \frac{l^2}{2h'^2}\left\{\frac{B w_0}{1+B} + 0.288\, w\right\} \ldots\ldots\ldots (3\text{ в.})$$

При преобразованной цѣпной линіи или пологой дугѣ круга можно дать приблизительно равномѣрную крѣпкость своду дѣлая его толщину у каждаго шва пропорціональною секансу угла наклоненія шва къ горизонту.

298. Подъземные своды, тонели, трубы. Если глубина, на которую опущенъ въ землю сводъ велика сравнительно съ его высотою, то лучшая линія давленія, которая должна помѣщаться въ средней трети его толщины, есть элиптическая линейная арка § 134, въ которой отношеніе полуосей равно корню квадратному изъ отошенія горизонтальнаго и отвѣснаго давленія земли, то есть

$$c = \sqrt{\frac{p_y}{p_x}} = \sqrt{\left(\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}\right)}; \ldots\ldots\ldots (1.)$$

гдѣ φ уголъ покоя.

Въ плотной, мало подающейся землѣ, отношеніе полуширины отверстія или горизонтальной полуоси, къ выносу свода или отвѣсной полуоси можетъ быть болѣе того, какое получается изъ этаго уравненія и земля все таки будетъ выдерживать горизонтальный распоръ свода; но это отношеніе никогда не должно быть менѣе требуемаго уравненіемъ иначе земля сожметъ сводъ.

Водосточную или дренажную трубу можно вывести всю по элипсу; но въ тонелѣ для дороги требуется плоское полотно, тутъ можно употребить только двѣ трети или три четверти элипса для верхней части свода; внизу же надобно положить пологій опрокинутый сводъ по дугѣ круга; стрѣла можетъ быть въ одну осьмую его отверстія или около того. При этомъ способѣ устройства отвѣсное давленіе стѣнъ тонеля сосредоточивается на нижнихъ рядахъ ихъ фундаментовъ. Отношеніе ширины тонеля, включая каменную или кирпичную кладку, къ толщинѣ обоихъ фундаментовъ не должно превосходить предѣла отношенія вѣса строенія къ вѣсу вытѣсняемой имъ земли, даннаго уравненіемъ (1.) § 237. Опрокинутый сводъ внизу тонеля противодѣйствуетъ давленію земли, стремящемуся вдвинутъ стѣны тонеля внутрь его.

Совершенно *точная* форма линіи давленія въ сводѣ и бокахъ тонеля есть *геостатическая арка* § 137 и этой формы надобно держаться, когда надъ сводомъ тонеля слой земли имѣетъ малую толщину. Пусть x_0 есть углубленіе вершины тонеля, x_1 углубленіе наибольшаго его разширѣнія подъ поверхностью земли: по этимъ даннымъ постройте *гидростатическую* арку при помощи формулы (12.) § 136: уменьшите горизонтальныя ординаты кривой въ отношеніи $c:1$ (см. уравненіе (1.)) тогда получите трбуемую геостатическую арку.

Давленіе въ засыпанномъ землею сводѣ достигаетъ наибольшей величины въ его бокахъ у концовъ наименьшаго діаметра овальнаго его сѣченія; приблизительная единичная величина этаго давленія дается слѣдующимъ уравненіемъ. Пусть x_1 углубленіе подъ землею наименьшаго діаметра, b' полуширина отверстія свода; a' его выносъ, t толщина боковъ, w вѣсъ кубическаго фута земли; тогда наибольшее давленіе на квадратный футъ будетъ

$$q = \frac{w\{x_1(b'+t) - 0.8\,a'b'\}}{t}; \quad \ldots\ldots\ldots (2.)$$

давленіе это не должно превосходить сопротивленія матеріала раздробленію, раздѣленнаго на приличный коефицентъ благонадежности.

Во многихъ кирпичныхъ тонеляхъ за коефицентъ благонадежности принято число *чертыре*: этаго достаточно по причинѣ неподвижности нагрузки. Но когда сводъ подверженъ ударамъ, какъ напримѣръ трубы подъ высокими насыпями, коефицентъ этотъ надобно увеличивать до *восьми* или даже *десяти*.

Какъ бы мала нибыла нагрузка надъ подземнымъ сводомъ, всегда есть наименьшая величина для его толщины, опредѣляемая по эмпиричикому правилу, похожему на то, которое выведено изъ существующихъ примѣровъ для обыкновенныхъ сводовъ. Называя b' полуширину отверстія, a' выносъ свода получимъ величину наибольшаго радіуса кривизны внутренней поверхности свода

$$r = \frac{a'^2}{b'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.)$$

тогда

$$t = \sqrt{0.12\,r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.)$$

это толщина свода при самой плотной землѣ; въ слабомъ грунтѣ толщина должна быть въ полтора или въ два раза болѣе, то есть должна быть

$$\text{отъ } \sqrt{0.27\,r} \text{ до } \sqrt{0.48\,r} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4\text{ A.})$$

Толщина свода въ ключѣ можетъ относиться къ толщинѣ стѣнъ какъ $b' : a'$; но обыкновенно даютъ имъ одинакую толщину.

Что касается до производнава насыпи поверхъ свода, то объ этомъ говорено § 201.

Координаты и уклонъ цѣпной линіи.

(§ 131 и 282).

m модуль, y_0 ордината вершины относительно директрисы, x горизонтальная абсиса относительно вершины, y соотвѣтственная ордината относительно директрисы, $\frac{dy}{dx}$ уклонъ кривой или тангенсъ угла наклоненія касательной.

$\frac{x}{m}$	$\frac{y}{y_0}$	$\frac{m\,dy}{y\,dx}$	$\frac{x}{m}$	$\frac{y}{y_0}$	$\frac{m\,dy}{y_0\,dx}$
0	1.0000	0.0000	1.6	2.5774	2.3755
0.2	1.0200	0.2013	1.8	3.1074	2.9421
0.4	1.0810	0.4107	2.0	3.7622	3.6269
0.6	1.1854	0.6366	2.2	4.5679	4.4571
0.8	1 3373	0.8880	2.4	5.5569	5.4662
1.0	1.5431	1.1752	2.6	6.7690	6.6947
1.2	1.8106	1.5094	2.8	8.2526	8.1918
1.4	2.1509	1.9043	3.0	10.0676	10.0178

Чтобы найти промежуточную ординату $y \pm v$, соотвѣтствующую абсисѣ $x \pm u$, когда $\frac{y}{y_0}$ соотвѣтствуетъ въ таблицѣ $\frac{x}{m}$, сдѣлайте

$$\frac{y \pm v}{y_0} = \frac{y}{y_0}\left(1 + \frac{u^2}{2\,m^2} + \frac{u^4}{24\,m^4}\right) \pm \frac{m}{y_0}\,\frac{dy}{dx}\left(\frac{u}{m} + \frac{u^3}{6\,m^3}\right) \qquad (1.)$$

Верхніе знаки $+$ должно взять тогда, когда данная абсиса $\frac{x \pm u}{m}$ находится ближе къ меньшему табличному числу; знакъ — берется когда эта абсиса ближе къ большему табличному числу.

При требованіи малой степени точности, члены содержащіе u^3 и u^4 могутъ быть отброшены, при чемъ погрѣшность для наибольшей ординаты, заключающейся въ предѣлахъ таблицы не превзойдетъ 0.0015; погрѣшность же полнаго выраженія менѣе 0.00005.

ГЛАВА IV.

ДЕРЕВЯННЫЯ СТРОЕНІЯ.

Отдѣлъ I. Лѣсной матеріалъ.

299. Строеніе дерева. Лѣсной матеріалъ для построекъ получается изъ деревьевъ, принадлежащихъ почти исключительно къ тѣмъ породамъ растительнаго царства, которыхъ стволъ увеличивается образованіемъ на наружной его поверхности новыхъ слоевъ и которыя по этому называются у ботанистовъ *кругоростными*.

Исключеніе составляютъ деревья изъ семейства пальмъ и древоподобные злаки, какъ бамбукъ, которые принадлежатъ къ классу *средоростныхъ*, такъ называемыхъ потому что хотя стволъ ихъ увеличивается нѣсколько отъ образованія новыхъ частей на наружной его поверхности, но волокна новой древесины пересѣкаются съ прежде образовавшимися и проникаютъ между ними такъ, что на одной части своей длины съ ними смѣшаны, другою же частью находятся внѣ ихъ. Стволъ этихъ деревьевъ легокъ и твердъ, но слишкомъ тонокъ и гибокъ для употребленія въ строеніяхъ большой важности, по этому объ нихъ здѣсь не будетъ больше рѣчи; относительный вѣсъ и крѣпкость бамбука, который принадлежитъ къ этому классу деревьевъ, даны въ таблицѣ при первой главѣ этой части.

Стволъ кругоростнаго дерева покрытъ корою, которая увеличивается образованіемъ новыхъ слоевъ на внутренней ея сторонѣ, между тѣмъ какъ древесная часть ствола получаетъ новые слои наружною своею стороною. Эти два явленія происходятъ на узкомъ пространствѣ между прежде образовавшеюся древесиною и его корою во время кругообра-

щенія соковъ. Сокъ поднимается отъ корня дерева къ листьямъ по клѣточкамъ, находящимся въ древесинѣ; въ листьяхъ получаетъ онъ углеродъ изъ атмосферы, становится плотнѣе, гуще и сложнѣе въ своемъ составѣ; онъ опускается потомъ отъ листьевъ къ корню по клѣточкамъ, заключающимся преимущественно во внутренней сторонѣ коры. Полагаютъ что новые слои дерева и коры образуются всѣ или большею частью нисходящимъ сокомъ.

Кругообращеніе сока совершенно или частью останавливается ежегодно на нѣкоторое время (въ жаркихъ поясакъ на сухое время года, въ полярныхъ и умѣренныхъ на зиму); отъ этаго дерево и кора образуются слоями, по одному въ годъ: но это не есть общее правило. Слои разнятся между собою въ цвѣтѣ и плотности.

Ткани изъ которыхъ состоятъ деревесина и кора бываютъ двухъ родовъ: *клѣтчатая* и *волокнистая;* разность между ними, видная на глазъ и замѣтная на ощупь, есть скорѣе разность въ степени, нежели въ родѣ; потому что волокна дерева суть очень длинныя клѣточки, или трубочки утоняющіяся къ концамъ и расположенныя въ перевязку.

Вязкость дерева при вытягиваніи вдоль зависитъ отъ вязкости стѣнокъ волоконъ или трубочекъ; вязкость же его, когда растягиваютъ его поперегъ, зависитъ отъ сцѣпленія волоконъ: примѣры крѣпкости дерева въ томъ и другомъ направленіи даны будутъ въ послѣдствіи.

Если разрѣзать стволъ дерева поперегъ или перпендикулярно къ его оси, то увидимъ что клѣтчатая и волокнистая ткани имѣютъ слѣдующее расположеніе.

По срединѣ ствола находится *сердцевина* изъ клѣтчатой ткани, заключенной въ сердцевинную трубку, образованную волокнистою тканью особеннаго рода. Отъ сердцевины къ корѣ расходятся лучами тонкіе листки клѣтчатой ткани, называемые *сердцевинными лучами*; между ними располагаются другіе такіе же лучи, идущіе отъ коры по направленію къ сердцевинѣ, но не доходящіе до нее. Когда сердцевинные лучи широки и очень ясны, какъ въ дубѣ, тогда они называются *зеркальцами.*

Между сердцевинными лучами находятся пучки волоконъ, составляющіе собственно древесину, они расположены почти концентрическими кругами или слоями вокругъ сердцевины; слои эти перерѣзываются сердцевинными лучами. Переходъ отъ однаго слоя къ другому бываетъ

болѣе или менѣе замѣтенъ по разной степени скважности и по разности въ твердости и въ цвѣтѣ. Годовые слои бываютъ обыкновенно толще съ той стороны ствола, которая болѣе подвергается дѣйствію воздуха и солнца, такъ что сердцевина находится не совершенно въ центрѣ ствола.

Древесина дѣлится на двѣ части: внѣшнюю или свѣжую часть, называемую *заболонью*, которая мягче, слабѣе, рѣже и иногда свѣтлѣе цвѣтомъ, нежели внутренняя часть или собственно древесина; только древесину можно употреблять въ тѣхъ строеніяхъ, отъ которыхъ требуется крѣпкость и прочность. Переходъ отъ заболони къ деревесинѣ такъ рѣзокъ, что кажется будто первая образовалась вся въ теченіи однаго года. Въ сочиненіи Тредгольда Principles of Carpentry приведены слѣдующія отношенія заболони ко всему объему дерева.

Деревья.	Возрастъ. Годы.	Діаметръ. Дюймы.	Число слоевъ. Заболони.	Толщ. забол. Дюймы.	Отношеніе заб. къ дер.
Каштанъ	58	$15^1/_2$	7	3 : 8	0.1
Дубъ	65	17	17	5 : 4	0.294
Шотландская сосна	?	24	?	5 : 2	0.416

Статья о деревѣ Роберта Мьюррея въ Encyclopaedia britanica содержитъ слѣдующія цифры.

Деревья.	Число слоевъ заболони.
Дубъ лѣтній	12—15
Дубъ зимній	20—30
Ильмъ	10
Каштанъ	5— 6
Лиственница	15
Сосна канадская	42
Сосна литовская	44
Сосна шотландская . . .	30

Внутреннее строеніе каждой вѣтви дерева такое же точно, какъ и ствола, которому она принадлежитъ съ тою разницею, что число слоевъ въ ней соотвѣтствуетъ ея возрасту. Вѣтвь бываетъ вросши въ тѣхъ слояхъ дерева которыя образовались послѣ ея появленія и потому волокна древесины ствола тутъ искривлены и здѣсь бываетъ то, что называется *сукомъ*.

300. Раздѣленіе строеваго лѣса на хвойный и лиственный. Для строительныхъ цѣлей деревья можно дѣлить на классы по механическому ихъ сложенію; ботаническое раздѣленіе на *кругоростныя* и *средоростныя* соотвѣтствуетъ этой разности въ строеніи дерева, какъ выше было сказано.

При дальнѣйшемъ раздѣленіи кругоростныхъ деревьевъ или собственно строеваго лѣса по механическому сложенію представляется возможность раздѣлить ихъ согласно съ ботанистами на: *Лиственныя* (Hardwood) и *Хвойныя* (Firwood) или игольчатыя, принадлежащія къ семейству шишконосныхъ.

Дальнѣйшія ботаническія дѣленія не имѣютъ никакого или очень мало отношенія къ внутреннему сложенію дерева.

Тредгольдъ предложилъ раздѣлить деревья, употребляемыя въ строенія, по ясности сердцевинныхъ случей и годовыхъ слоевъ. Если принять его классификацію, то надобно помѣстить хвойныя деревья въ одномъ классѣ съ тѣми изъ лиственныхъ, которыхъ сердцевинные лучи не ясны, и это ея недостатокъ. Если же отдѣлить совершенно хвойныя деревья, то лиственныя можно классифировать по системѣ Тредгольда; все таки надобно сказать что классификація эта будетъ основана на степени качествъ, а не на ихъ различіи, а потому она неудовлетворительна; но она принимается за недостаткомъ лучшей. Вотъ эта система:

I. Классъ: **Хвойныя деревья:** Ель, Сосна, Лиственница, Кедръ, Тисъ, Можжевельникъ.

II. Классъ: **Лиственныя деревья.**

Отдѣлъ 1й Широкіе явственные сердцевинные лучи. Деревья этаго отдѣла принадлежатъ къ ботаническому семейству *сережчатыхъ* (amentaceae).

Разрядъ 1й: Явственные годовые слои: Дубъ.

Разрядъ 2й: Неявственные годовые слои: Букъ, Ольха, Кленъ, Чинаръ.

Отдѣлъ 2й: Неявственные серцевинные лучи.

Разрядъ 1й: Явственные годовые слои: Каштанъ, Ясень, Вязъ, Ильмъ.

Разрядъ 2й: Неявственные годовые слои: Орѣшникъ, Красное дерево, Тикъ, Тополь, Самшитъ.

Хвойныя или шишконосныя деревья (coniferae) содержатъ большею частью терпентинъ; волокна дерева правильны и прямы, также какъ и весь стволъ: это качество очень важно для строеній, въ которыхъ нужны длинныя

бревна, сопротивляющіяся вытягиванію или поперечному давленію. Но боковая связь волоконъ очень слаба, и хвойныя деревья раскалываются и расщепливаются легче лиственныхъ и дурно сопротивляются сжиманію или скалыванію. Самыя твердыя породы деревьевъ этаго класса легко обработываются. Особенность хвойныхъ деревьевъ, замѣчаемая только подъ микроскопомъ, состоитъ въ томъ что волокна ихъ имѣютъ на стѣнкахъ отверстія почти исключительно со сторонъ, обращенныхъ къ сердцевиннымъ лучамъ: очень можетъ быть что существованіе этихъ отверстій ослабляетъ боковую связь волоконъ.

Въ лиственныхъ деревьяхъ нѣтъ терпентина; степень явственности съ которой видно строеніе дерева, какъ относительно сердцевенныхъ лучей, такъ и годовыхъ слоевъ, зависитъ отъ степени разности въ тканяхъ частей дерева; въ слѣдствіе этой разности происходитъ неравномѣрное сжатіе при высыханіи: деревья съ явственными лучами и слоями растрекиваются скорѣе нежели тѣ, которыхъ ткань однообразнѣе; зато первыя гибче, во многихъ случаяхъ тверже и крѣпче и потому должны быть предпочитаемы въ строеніяхъ подвергающихся ударамъ.

301. Признаки хорошаго лѣса. Есть нѣкоторые признаки, по которымъ узнаютъ крѣпкій и прочный лѣсъ, къ какому бы классу онъ ни принадлежалъ.

Изъ деревьевъ одной породы крѣпче и прочнѣе тѣ, которыя медленнѣе растутъ; медленность роста узнается по малому разстоянію между годовыми слоями.

Клѣтчатая ткань сердцевинныхъ лучей, если она видна, въ хорошемъ деревѣ должна быть тверда и плотна.

Волокна должны имѣть большую связь, не должны быть махровыми въ свѣжемъ разрѣзѣ и не должны набиваться въ зубья пилы.

Темный цвѣтъ древесины есть вообще признакъ прочности и крѣпкости.

Поверхность свѣжаго разрѣза дерева должна быть тверда и отсвѣчивать, казаться почти просвѣчивающею: тусклый видъ въ разрѣзѣ есть признакъ дурнаго лѣса.

Изъ деревьевъ однаго рода то, которое тяжелѣ, есть вмѣстѣ съ тѣмъ болѣе прочное и крѣпкое.

Изъ смолистыхъ деревьевъ прочнѣе и крѣпче тѣ, въ корѣ которыхъ менѣе смолы, а изъ не смолистыхъ тѣ, которые менѣе сочны.

Нѣкоторые полагаютъ что тѣ изъ хвойныхъ деревьевъ лучше, которыя имѣютъ больше заболони, а изъ лиственныхъ тѣ, въ которыхъ ее менѣе: общность такого закона сомнительна.

Въ строеніяхъ не должно употреблять деревьевъ съ пороками, каковы трещины идущіе отъ центра къ корѣ и происшедшія отъ мороза (морозобой) или отъ разшатыванія дерева сильнымъ вѣтромъ (мѣтикъ или роззыбь, вѣтренница); трещины между слоями (облупы, поясья, двойная оболонь); свилеватость или искривленіе волокна; косослой или винтообразное расположеніе волоконъ; порость или заросшіе нѣсколькими правильными слоями древесины ушибы или затесы; сѣрянка или засмолокъ есть порость хвойнаго дерева. Всякіе пустоты внутри, губки и грибы на стволѣ дерева составляютъ вѣрный признакъ его гнилости въ большей или меньшей степени.

302. Хвойныя деревья. I. *Сосна* (pinus sylvestris) растетъ во многихъ странахъ, но лучшая получается изъ Норвегіи, Швеціи, Россіи и Польши. Годовыя слои состоятъ изъ твердой части чистаго бурокраснаго цвѣта, и мягкой части, которая свѣтлѣе: толщина слоевъ не должна превосходить одной десятой доли дюйма. Обыкновенно на лѣсныхъ дворахъ сосновыя бревна имѣютъ до 7 вершковъ въ отрубѣ и до 3 сажень длины. Сосна есть лучшій лѣсъ для балокъ, затяжекъ и вообще прямыхъ частей деревянныхъ строеній.

II. *Ель* (Abies excelsa) ростетъ въ сѣверныхъ странахъ. Она очень хороша для легкихъ сооруженій и для настилокъ: большею частью встрѣчается въ видѣ досокъ. *Мадрильныя* доски имѣютъ толщину отъ 3 до 4 дюймовъ, *половыя* $2^1/_2$, *кровельныя* отъ 1 до $1^1/_2$ дюйма. Въ Англіи названія доскамъ даются по ширнѣ: *батансы* (battens) 7 дюймовъ; *девятки* (deals) 9 дюймовъ и *сортовки* (planks) 11 дюймонъ ширины. Обыкновенная длина досокъ отъ 12 до 14 футъ.

III. *Лиственница* (Larix europea) растущая во многихъ частяхъ Европы, замѣчательна по крѣпкости своей и прочности на воздухѣ; но она тверже для обработки и скорѣе трескается нежели сосна. Лучшіе сорты имѣютъ твердую часть годовыхъ слоевъ темно краснаго, а мягкую часть желтоватаго цвѣта; годовые слои толще нежели у сосны.

IV. *Пихта* (Pinus picea) имѣетъ меньше вѣтвей нежели

сосна или ель, и потому доски изъ нее выходятъ чище, она легка и гибка, но не очень прочна.

V. *Кедровымъ* называютъ лѣсъ, получаемый не только отъ дерева, извѣстнаго подъ названіемъ Кедра ливанскаго (Cedrus libani), но также и отъ нѣкоторыхъ породъ Можжевельника (Juniperus virginiana) и Кипариса (Cupressus). Лѣсъ этотъ прочностью превосходитъ другія породы, но очень слабъ.

303. Лиственныя деревья съ явственными сердцевинными лучами и годовыми слоями.

I. *Дубъ* есть самое крѣпкое, прочное и плотное изъ деревьевъ, растущихъ въ умѣренныхъ странахъ; его есть два вида: *дубъ лѣтній* или *стебельчатый* (quercus pedunculata) котораго листья имѣютъ очень короткіе черешки, а плоды стоятъ по два и по три вмѣстѣ на общей длинной ножкѣ, и *дубъ зимній* (quercus sessiliflora), у котораго листья на длинныхъ черешкахъ, а плоды или желуди сидятъ по нѣскольку, обыкновенно по четыре, на едва замѣтной ножкѣ.

Древесина лѣтняго дуба свѣтлѣе цвѣтомъ и имѣетъ большее число сердцевинныхъ лучей, нежели зимній дубъ и лучи эти въ немъ явственнѣе; лучи зимняго дуба такъ мало замѣтны что его трудно отличить отъ каштана, за который его иногда принимали въ старыхъ строеніяхъ. Лѣтній дубъ жестче зимняго и волокна его прямѣе, онъ легче обработывается и менѣе коробится, поэтому онъ хорошъ тамъ, гдѣ нужна жесткость и чистая работа; зимній дубъ гибче и лучше лѣтняго въ строеніяхъ, подверженныхъ ударамъ.

Хорошій дубовый лѣсъ, когда свѣжъ, имѣетъ блѣдный коричневато-желтый цвѣтъ съ зеленымъ оттѣнкомъ, твердую и блестящую поверхность, тонкіе и правильные годовые слои, твердые и плотные сердцевинные лучи. Толстые годовые слои, широкія поры, тусклая поверхность, красноватый отблескъ суть признаки слабаго и не прочнаго дуба.

Считаютъ что дубъ достигаетъ совершеной зрѣлости во сто лѣтъ и въ этомъ возрастѣ каждое дерево даетъ 75 куб. футъ лѣсу; его не должно рубить раньше 60го и позже 200го года его возраста.

Въ Сѣверной Америкѣ есть много видовъ дуба: *красный* (quercus rubra) и *бѣлый* (quercus alba) мало уступаютъ въ добротности Европейскому дубу; *живой дубъ*

(quercus virens) по крѣпкости, плотности и прочности превосходитъ другіе виды, но очень рѣдокъ и идетъ только на кораблестроеніе.

Дубъ содержитъ галлову или чернильно-орѣшковую кислоту, которая вѣроятно увеличиваетъ его прочность, но портитъ желѣзо.

304. Лиственныя деревья съ явственными сердцевинными лучами и не явственными годовыми слоями.

I. *Букъ* (Fagus sylvatica) растетъ въ Евронѣ.

II. *Ольха* (Alnus glutinosa) тоже.

III. *Американскій чинаръ* (Platanus occidentalis) въ Сѣверной Америкѣ.

IV. *Лжеяворъ* (Acer pseudoplatanus) въ западной Европѣ.

Деревья эти имѣютъ однообразную ткань, хорошо сопротивляются раздавливающимъ силамъ, въ сухомъ мѣстѣ прочны, но на воздухѣ скоро портятся и потому не употребительны въ деревянныхъ строеніяхъ.

305. Лиственныя деревья съ неявственными сердцевинными лучами и явственными годовыми слоями. Они вообще крѣпки, но гибки.

I. *Каштанъ* (Castanea vesca) цвѣтомъ похожъ на дубъ, отличается отъ него тѣмъ, что сердцевинные лучи не явственны и имѣетъ меньше заболони; уступаетъ дубу въ прочности, особенно если старъ.

II. *Ясень* (Fraxinus excelsior) по плотности и гибкости есть лучшее изъ Европейскихъ деревьевъ для ручекъ инструментовъ, экипажныхъ кузововъ и т. п.; но не довольно жестокъ и крѣпокъ для большихъ строеній. Но цвѣту имѣетъ сходство съ дубомъ, нѣсколько темнѣе его и зеленѣе въ отливѣ; годовые слои толще нежели у дуба и разница между плотною и скважистою частью этихъ слоевъ значительнѣе.

III. *Ильмъ* (Ulmus campestris).

IV. *Вязъ* (Ulmus effusa) очень прочны когда находятся постоянно въ водѣ и потому хороши для свай и подводныхъ деревянныхъ строеній. Крѣпкость ихъ поперегъ волоконъ и вдоль при сжиманіи очень велика, это дѣлаетъ ихъ удобными для нѣкоторыхъ частей машинъ, ступицъ колесъ, шкивовъ и т. п. Для большихъ деревянныхъ строеній они не годятся.

306. Лиственныя деревья съ неявственными сердце-

винными лучами и годовыми слоями; при однообразной ткани они мало коробятся.

I. *Красное дерево* (Swietenia Mahogani) растетъ въ центральной Америкѣ и Антильскихъ островахъ. Первое называется Гундурасскимъ (Bay Mahogany), второе Испанскимъ; по прочности, крѣпкости, жесткости и размѣрамъ первое предпочитается второму, которое однакоже лучше для украшеній потому что въ порахъ его есть бѣлое вещество, подобное мѣлу. Вообще красное дерево очень крѣпко во всѣхъ направленіяхъ, очень прочно и менѣе другихъ деревьевъ измѣняется отъ жару и сырости. Малые размѣры и неправильность ствола дѣлаютъ его негоднымъ для большихъ строеній.

II. *Тикъ* (Tectona grandis) растетъ въ юго восточной части Азіи и въ восточной Индіи, лучшій получается съ Малабарскаго берега, и съ острововъ Цейлона и Явы. Тикъ похожъ на дубъ по цвѣту и блеску, очень однороденъ и плотенъ въ ткани, имѣетъ тонкіе и правильные годовые слои, не подверженъ чревоточинѣ, не портитъ желѣзныхъ связей и потому очень хорошъ для кораблей.

Въ скважинахъ тика есть смолистое вещество, для полученія котораго дерево колотятъ и этимъ уменьшаютъ его прочность и жесткость.

Въ кораблестроеніи очень цѣнятся еще лѣсныя породы: *Нектандръ* (Nectandra rodioei), *Мора* (Mora excelsa), растущія въ британской Гвіанѣ, и разные виды *Евкалипта* (Eucaliptus) изъ Австраліи, извѣстные въ Англіи подъ названіемъ Iron bark (желѣзная кора) бѣлаго или желтоватаго цвѣта, Blue-gum (синяя смола) соломеннаго цвѣта и Jarrah или Австралійское красное дерево. Деревья породы Евкалиптъ отличаются размѣрами, крѣпкостью и прочностью; лѣсъ этотъ легче колется по направленію годовыхъ слоевъ нежели по радіусамъ и самый обыкновенный порокъ его есть концентрическое разслоеніе.

307. Вліяніе почвы и климата на лѣсъ. Деревья растутъ на весьма различныхъ грунтахъ; лучшія на такой почвѣ, которая не будучи слишкомъ суха и скважиста не задерживаетъ воды, таковы супески или смѣси глины съ пескомъ; на болотномъ грунтѣ, содержащемъ стоячую воду, деревья всегда слабы и непрочны.

Относительно климата существуетъ кажется два закона: самыя крѣпкія породы деревьевъ растутъ въ теп-

лыхъ странахъ, а изъ деревьевъ одной породы тѣ, которыя растутъ въ холодныхъ странахъ, бываютъ крѣпче. Вѣрность перваго закона оправдывается на тикѣ, черномъ деревѣ, бакаутѣ, евкалиптѣ; втораго на сравненіи дуба Итальянскаго съ Средне Европейскимъ, сосны Германской съ Русской и Норвежской.

308. Время свалки дерева. Для каждаго дерева существуетъ извѣстный возрастъ, въ которомъ оно имѣетъ наибольшую прочность и крѣпкость. Когда дерево еще не достигло этаго возраста, оно имѣетъ малый обьемъ, слабую и непрочную древесину, много заболони; а когда дерево перестояло, тогда средняя часть ствола становится хрупкою или мягкою, въ немъ образуются дупла или пустоты, и дерево начинаетъ портиться.

По Тредгольду зрѣлый возрастъ, лучшій для валки, есть слѣдующій; для дуба между 60 и 200 годами, для Ясеня, Ильма, Лиственницы между 50 и 100; для сосны между 70 и 100 годами.

Лучшее время года для валки лѣсу есть то, когда движеніе соковъ въ немъ на время прекращается т. е. зима въ сѣверныхъ и умѣренныхъ странахъ, потому что свѣжій сокъ въ срубленномъ въ иное время года деревѣ разлагается и оно портится. Нѣкоторые совѣтуютъ снимать кору съ деревьевъ въ ту весну, которая предшествуетъ ихъ свалкѣ, заболонь тогда твердѣетъ.

Тотчасъ послѣ свалки дерева надобно его обтесать или снять *горбыли*, чтобы открыть воздуху доступъ внутрь дерева, этимъ ускорится его просушка; очень толстыя бревна можно тотчасъ распиливать на *пластины* или на *четвертины*.

309. Сушка лѣсу производится съ цѣлью удалить изъ него возможно скорѣе сырость и соки. *Естественная сушка* вольнымъ воздухомъ въ закрытыхъ отъ солнца и вѣтра и сухихъ помѣщеніяхъ продолжается для строеваго лѣса не менѣе двухъ, а для столярнаго не менѣе четырехъ лѣтъ; иногда и болѣе. Полъ сушильни долженъ быть сухъ и вымощенъ, а бревна надобно класть на чугунныя подкладки и съ промежутками, чтобы воздухъ имѣлъ свободный доступъ къ лѣсу.

Погруженіе сваленнаго дерева въ воду, особенно въ текучую, недѣли на двѣ послѣ его срубки, уменьшаетъ въ немъ количество соковъ и сушка идетъ потомъ быстрѣе.

Лучшая *искуственная сушка* лѣса состоитъ въ томъ, что его подвергаютъ току горячаго воздуха въ камерѣ или въ печи. Г. Девисонъ вгоняетъ въ камеру горячій воздухъ посредствомъ мѣховъ со скоростью 100 футъ въ секунду; мѣхи, проводныя трубы и камера имѣютъ такіе размѣры, что воздухъ въ камерѣ совершенно возобновляется черезъ каждыя три минуты. Температура воздуха зависитъ отъ породы лѣса и его размѣровъ: для дуба всѣхъ размѣровъ она не должна превосходить $31^1/_2{}^0$ Р., для крупнаго лиственнаго лѣса отъ 26° до 30°, для крупнаго хвойнаго до 39°, для мелкаго лѣса отъ 66° до 75°; красное дерево въ доскахъ толщиною въ дюймъ сушится при температурѣ отъ 101° до 119°.

Время потребное для высушки дерева зависитъ отъ его толщины.

Толщина въ дюймахъ	1.	2.	3.	4.	6.	8.
Время въ недѣляхъ	1.	2.	3.	4.	7.	10.

Токъ воздуха поддерживается 12 часовъ въ сутки.

Джемсъ Робертъ Непиръ производилъ очень успѣшно сушку лѣса въ кирпичной камерѣ, въ которую горячій воздухъ, температурою до $92^1|_2{}^0$ Р., входилъ прямо изъ горна душниками, помѣщенными вверху камеры. Какъ болѣе рѣдкій нежели тотъ, который находится въ камерѣ, воздухъ этотъ распостраняется тонкимъ слоемъ подъ потолкомъ и постепенно опускается, проходя между бревнами, до полу, гдѣ находятся отверстія, сообщающіяся съ вытяжной трубою. На каждые 3 фунта воды, выпаренной изъ дерева, издерживается 1 фунтъ кокса.

Много опытовъ было дѣлано для опредѣленія потери вѣса и уменьшенія объема дерева при сушкѣ его; но полученныя числа такъ между собою различны, что въ нихъ нельзя замѣтить никакого закона. Вотъ предѣлы, въ которыхъ находятся эти числа.

Лѣсъ.	Потеря вѣса на 100.	Поперечное сжатіе на 100.
Красная сосна	12—25	$2^1/_2$—3
Желтая сосна	18—27	2—3
Лиственница	6—25	2—3
Дубъ	16—30	8
Ильмъ	40	4
Красное дерево	16—25	

310. Прочность и порча дерева. Всѣ породы дерева очень прочны, если находятся постоянно въ сухомъ мѣстѣ, при свободномъ доступѣ воздуха.

Дерево, находясь постоянно въ мокромъ мѣстѣ становится мягче и слабѣе, но можетъ не портится. Нѣкоторыя породы дерева какъ на примѣръ Букъ, Ильмъ въ этомъ состоянiи особенно прочны.

Прочности дерева вредятъ измѣненія гигрометрическія или переходы отъ сухости къ сырости, а также и большая степень сырости, особливо если она сопровождается тепломъ и стоячимъ воздухомъ. Если дерево по необходимости должно быть употреблено въ такихъ обстоятельствахъ, то должно выбирать самыя прочныя породы лѣса и приниматъ мѣры для его предохраненія. Гашеная известь портитъ дерево, которое должно въ строеніяхъ охранять отъ прикосновенія съ известковымъ растворомъ.

Дерево въ спертомъ воздухѣ, когда нѣтъ значительной сырости, подвергается *сухому гніенію*, которое сопровождается проростаніемъ грыбовъ и наконецъ доводитъ дерево до состоянія порошка.

Вотъ продолжительность существованія дерева въ корабляхъ по изслѣдованіямъ коммиссіи Лойда.

12 лѣтъ для тика, британскаго дуба и прочныхъ тропическихъ породъ лѣса; 10 лѣтъ для краснаго дерева и кедра; 9 для Европейскаго дуба и каштана; 8 для Сѣверо-Американскихъ дуба и каштана; 7 для лиственницы и ясеня; 6 для Американскаго ильма; 5 для красной сосны, черной березы, ели, бука; 4 для Американской сосны.

311. Сохраненіе дерева. Самыя дѣйствительныя средства для сохраненія дерева суть: хорошая его высушка и свободный доступъ воздуха.

Предохраненіе отъ сырости производится маслянной окраской, нужно только чтобы дерево до окраски было хорошо высушено, и чтобы окраска возобновлялась отъ времени до времени. Маслянная краска можетъ быть замѣнена смолою.

Предохранительнымъ средствомъ противъ сухой гнили можетъ служить пропитываніе дерева растворами металическихъ солей: Г. Чапманъ употребляетъ для этаго *желѣзный купоросъ*, Г. Кайанъ *двухлористую ртуть*, Г. Бьюрнетъ *хлористый цинкъ*. Всѣ эти соли сохраняютъ дерево до тѣхъ поръ пока находятся въ его порахъ; но кажется что онѣ мало по малу вымываются водою.

Г. Бушери употребляетъ растворъ *мѣднаго купороса*, разведеннаго во ста частяхъ воды. Жидкость эта наливается въ чанъ, помѣщенный 30ю или 40 футами выше пропитываемаго бруса; отъ этаго чана идетъ гибкая труба къ пузырю надѣтому на отрубъ бруса, и жидкость вдавливается вѣсомъ своего столба въ трубочки волокнистой ткани, выгоняя изъ нихъ сокъ, до тѣхъ поръ пока совершенно ихъ наполнитъ.

Дерево предохраняется не только отъ гніенія, но также и отъ черевоточины по способу Г. Бетселя, который состоитъ въ пропитываніи его *креозотомъ*.

Воздухъ и сырость вытягиваются изъ бревна, помѣщеннаго въ герметическомъ ящикѣ: въ разряженномъ воздухѣ остается оно нѣсколько часовъ, потомъ нагнѣтаютъ въ ящикъ креозотъ подъ давленіемъ до 165 фунтовъ на квадратный дюймъ и оставляютъ подъ этимъ давленіемъ нѣсколько дней. Дерево принимаетъ креозоту отъ одной двѣнадцатой до одной двадцатой своего вѣса.

312. Крѣпкость дерева. Между разными образцами лѣса одной породы тотъ будетъ крѣпче, который въ сухомъ состояніи плотнѣе.

Таблицы выводовъ изъ достойныхъ довѣрія опытовъ надъ крѣпкостью дерева при разныхъ направленіяхъ дѣйствующихъ на него силъ, даны въ концѣ первой главы этой части; объ крѣпкости подпоръ сказано въ § 158.

Вотъ нѣсколько замѣчаній на счеть того, какъ проявляется крѣпкость въ деревѣ.

I. *Вязкость* дерева вдоль волоконъ зависитъ отъ вязкости самихъ волоконъ и бываетъ наибольшая въ тѣхъ деревьяхъ, въ которыхъ эти волокна прямы и явственны. Она не измѣняется отъ временной сырости, но уменьшается при продолжительной мокротѣ, также при распариваніи дерева.

Вязкость поперегъ волоконъ, зависящая отъ взаимнойихъ связи, вообще значительно меньше продольной, уменьшается отъ сырости и увеличивается сушкою. Точныхъ опытовъ надъ этою вязкостью было сдѣлано очень мало. Разность величины этой вязкости въ хвойномъ и лиственномъ лѣсѣ полагаетъ рѣзкую разницу между этими породами; по нѣкоторымъ опытамъ отношеніе поперечной вязкости къ продольной есть въ хвойномъ лѣсѣ отъ $1—20^{й}$ до $1—10^{й}$, а въ лиственномъ отъ $1—6^{й}$ до $1—4^{й}$ и даже болѣе.

II. *Сопротивленіе сдвиганію* или скольженію волоконъ дерева однихъ по другимъ почти также велика, какъ и поперечная вязкость дерева. Относительно сдвиганія поперегъ волоконъ сказано болѣе въ § 322.

III. *Сопротивленіе раздробленію* вдоль волоконъ зависитъ отъ сопротивленія волоконъ сгибу, перелому, и отдѣленію другъ отъ друга, оно тѣмъ болѣе, чѣмъ поперечная вязкость болѣе; по опытамъ Г. Годжкинсона въ сухомъ деревѣ оно вдвое болѣе нежели въ свѣжемъ. У многихъ древесныхъ породъ въ сухомъ состояніи сопротивленіе раздробленію бываетъ отъ половины до двухъ третей сопротивленія разрыву.

Опыты, которые дѣлались надъ сопротивленіемъ дерева раздробленію поперегъ волоконъ, имѣющему нѣкоторое сходство со скалываніемъ, не привели ни къ какимъ положительнымъ выводамъ за изключеніемъ того, что показали что поперечная крѣпкость дерева менѣе продольной какъ при вытягиваніи такъ и при сжиманіи: поэтому надобно избѣгать тѣхъ случаевъ, когда дерево можетъ подвергаться въ строеніяхъ сжиманію поперегъ.

IV. *Коефицентъ перелома* или сопротивленіе дерева поперечному излому обыкновенно нѣсколько менѣе его вязкости; но разность рѣдко бываетъ значительна.

V. *Сопротивленіе дерева скручиванію* изслѣдовано было Г. Бунисо; выводы его опытовъ помѣщены въ Annales des ponts et chaussées 1861 года. Здѣсь даны цифры, подставляемыя въ формулу Сенъ Венана, которая вѣрнѣе формулы изслѣдователя.

	Коефицентъ f перелома при скручиваніи въ пудахъ на квадр. дюймъ.	Коефицентъ C поперечной упругости въ пудахъ на квадр. дюймъ.
Дубъ нормандскій	65	2281
Ильмъ	38	2104
Сосна красная прусская	43	3220
„ „ норвежская	26	1711
Ясень	40	2104.

Коефицентъ перелома при скручиваніи у дуба почти тотъ же что и при скалываніи, наибольшую упругость имѣетъ красная сосна.

Въ приложеніи къ брусьямъ квадратнаго сѣченія употребляются слѣдующія формулы

$$M = 0.281\, f h^3$$

$$\theta = \frac{M' l}{0.1405\, C h^4}$$

въ которыхъ h есть толщина и ширина бруса, l его длина, M моментъ нужный для того чтобы его свернуть, M' какой нибудь моментъ крученія, θ соотвѣтственный этому моменту уголъ крученія, выраженный отношеніемъ дуги къ радіусу.

VI. *Коефиціентъ благонадежности* въ существующихъ деревянныхъ строеніяхъ измѣняется между 4 и 14; средняя величина его есть 10.

ОТДѢЛЪ II. ВЯЗКИ ДЕРЕВА И СКРѢПЫ.

313. Классификація и общія правила. Вязки, которыми соединяются разныя части деревяннаго строенія, и желѣзныя скрѣпы, которыя ихъ усиливаютъ, бываютъ разныхъ родовъ, смотря по расположенію связываемыхъ частей и по дѣйствующимъ въ нихъ силамъ. Робизонъ и Тредгольдъ сдѣлали раздѣленіе вязокъ на роды, которое принято и въ этомъ сочиненіи и для лучшаго пониманія котораго надобно вспомнить сказанное объ фермахъ въ §§ отъ 111 до 122.

I. Вязки для удлиненія струнъ или сращиванія;
II. Вязки для удлиненія распорокъ или наращиванія;
III. Вязки для удлиненія балокъ или сращиванія;
IV. Вязки балокъ съ балками;
V. Вязки балокъ съ распорками;
VI. Вязки распорокъ съ струнами.

Скрѣпы можно раздѣлить на слѣдующіе роды:

I. Гвозди, нагели, ерши, и болты подвергающіеся преимущественно сдвиганію и прогибу.

II. Скобы, затяжки, привѣсные прутья подверженные вытягивающимъ силамъ.

III. Башмаки.

При начертаніи и выполненіи разнаго рода вязокъ и скрѣпъ надобно держаться по возможности слѣдующихъ правилъ:

I. Дѣлать врубки для вязокъ и помѣщать скрѣпы такъ, чтобы возможно менѣе ослаблять связываемыя деревянныя штуки.

II. Плоскости вязокъ помѣщать по возможности

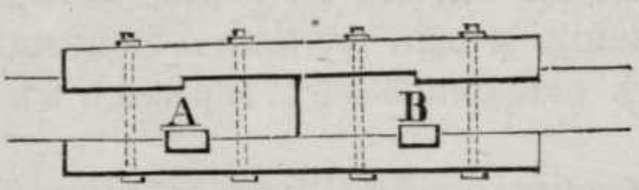
въ перпендикулярномъ направленіи къ дѣйствующимъ силамъ.

III. Соразмѣрять площадь вязки съ выдерживаемымъ давленіемъ для того, чтобы дерево не повреждалось отъ наибольшаго груза, которому оно можетъ подвергнутся въ строеніи; вязка должна быть правильно исполнена для равномѣрнаго распредѣленія силъ.

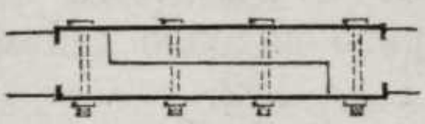
IV. Скрѣпы дѣлать одинакой крѣпкости со связываемыми штуками.

V. Помѣщать скрѣпу въ каждой деревянной штукѣ такъ, чтобы она не могла быть расколота или раздроблена самою скрѣпою.

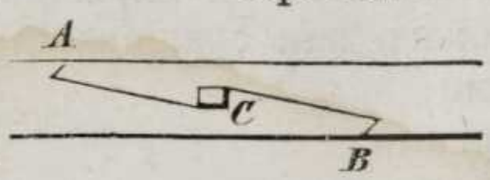
314. Сращиваніе струнъ дѣлается въ *стыкъ* или *замкомъ*. При сращиваніи въ стыкъ двѣ части струны примыкаютъ одна къ другой, и связаны привинчиваемыми къ нимъ боковыми деревянными подушками или желѣзными скобами. При сращиваніи замкомъ одна часть струны нахлестывается на другую. Чертежъ 187 представляетъ сращиваніе въ стыкъ, чертежи 188, 189 и 190 суть примѣры



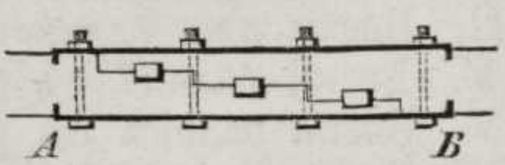
Чер. 187.



Чер. 188.



Чер. 189.



Чер. 190.

сроста замкомъ, изъ которыхъ первый и послѣдній усилены желѣзными скобами.

При простомъ сростѣ стыкомъ накладки имѣютъ плоскія поверхности прикосновенія къ струнѣ и передача вытягивающей силы производится только болтами и еще треніемъ накладокъ прижатыхъ къ частямъ струны, которая ослабляется на столько, насколько площадь поперечнаго ея сѣченія уменьшается отверстіями, сдѣланными для болтовъ. Общая поперечная площадь сѣченія накладокъ должна быть равна площади струны. Общая площадь сѣченія болтовъ должна составлять по меньшей мѣрѣ *пятую долю* площади дерева, оставшейся послѣ прорѣзки дыръ для болтовъ;

квадратные болты должно предпочитать круглымъ. Отверстія должны быть такъ расположены и на столько отдалены отъ концовъ обѣихъ частей струны, чтобы соединенная площадь двухъ слоевъ волоконъ, по которымъ можетъ произойти скалываніе было во столько разъ больше площади сѣченія струны, во сколько вязкость дерева превосходитъ его сопротивленіе скалыванію (см. § 312). По тому же правилу назначаются мѣста для отверстій въ накладкахъ.

Накладки могутъ быть связаны съ частями струны посредствомъ *зубьевъ*, какъ показано на верхней сторонѣ чер. 187 или посредствомъ *шпонокъ* какъ видно на нижней сторонѣ: въ обоихъ случаяхъ дѣйствительная площадь струны уменьшается на величину врубокъ для замковъ или для шпонокъ. Площадъ упора замка или шпонокъ должна соотвѣтствовать найбольшей силѣ, которой можетъ подвергнуться струна; разстояніе ихъ отъ концовъ частей струны или накладокъ должно быть достаточно для сопротивленія скалыванію.

При деревянной струнѣ брусчатыя накладки могутъ быть замѣнены желѣзными скобами, которыхъ площадь сѣченія разчитывается сообразно вязкости желѣза и которыя могутъ быть врѣзаны концами въ дерево. Чертежъ 188 представляетъ сростъ въ замокъ, усиленный врѣзанными въ дерево желѣзными скобами.

На чер. 189 изображенъ *натяжной замокъ*, который можетъ держаться безъ болтовъ и скобъ; въ C помѣщенъ ключь или клинъ изъ твердаго дерева, который загоняется въ замокъ и сжимаетъ его, толщина этаго клина втрое менѣе толщины струны, по этому вязка эта втрое слабѣе простой вязки въ стыкъ, но ее можно значительно усилить скобами въ A и B. Чертежъ 190 представляетъ стыкъ въ замокъ съ нѣсколькими шпонками или клиньями и усиленный желѣзными скобами, которыя врѣзаны въ дерево.

Тредгольдъ даетъ слѣдующее практическое правило для опредѣленія отношенія длины замка отъ A до B въ каждомъ чертежѣ къ толщинѣ струны.

	Безъ болтовъ.	Съ болтами.	Съ болтами и врѣзами.
Лиственный лѣсъ	6	3	2
Хвойный лѣсъ	12	6	4.

315. Наращиваніе подпоръ. Въ вязкахъ, дѣлаемыхъ для удлиненія подпорокъ или распорокъ, отдѣльныя части должны ограничиваться плоскими поверхностями, перпендикулярными къ направленію дѣйствующей силы, а чтобы эти части неизмѣняли своего положенія, можно употребить желѣзныя скобы со всѣхъ четырехъ сторонъ или желѣзные башмаки, приспособленные къ принятію концовъ отдѣльныхъ частей. Чтобы предупредить врѣзываніе волоконъ одной части въ другую хорошо прокладивать въ стыкѣ мѣдныя досчечки. Мѣста, гдѣ сдѣланы наращиванія, полезно укрѣплять съ боковъ посредствомъ распорокъ или иначе.

316. Удлиненіе балокъ можетъ дѣлаться какъ и сращиваніе струнъ въ стыкъ или замкомъ, сростъ долженъ всегда помѣщаться въ мѣстахъ, гдѣ моментъ сгиба наименьшій. Вязки употребляются тѣже, что и при сращиваніи струнъ съ соблюденіемъ слѣдующихъ условій.

I. Съ той стороны балки, которая сжимается, части ея должны имѣть упорныя плоскоски перпендикулярными къ сжимающей силѣ, по этому замки въ родѣ показаннаго на чертежѣ 189 не должны быть допускаемы.

II. Грани замка должны быть параллельны дѣйствующей силѣ, т. е. въ большей части случаевъ отвѣсны, такъ чертежи 188—190 представляютъ вязку въ планѣ или горизонтальномъ проложеніи; опыты Полковника Бофуа показали, что замокъ расположенный отвѣсно (up and down) сильнѣе лежачаго (flat wise).

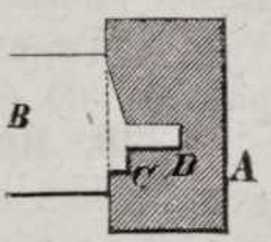
317. Вязка балокъ въ крестъ (notching). Когда второстепенная балка должна поддерживаться главною, перекрещивая ее подъ угломъ, то лучше всего наложить первую на вторую, сдѣлавъ въ первой небольшую врубку или *чашку* (notch) снизу для того, чтобы утвердить ее на главной балкѣ, которая при этой вязкѣ нисколько не ослабляется.

318. Вязка балокъ шипомъ (mortising). При недостаткѣ мѣста для помѣщенія одной балки надъ другою, вязка можетъ быть сдѣлана шипомъ и гнѣздомъ; *шипъ* есть утоненое продолженіе второстепенной балки, а *гнѣздо* есть отверстіе сдѣланное въ боку главной балки для принятія шипа. Шипъ можетъ быть удержанъ на мѣстѣ посредствомъ гвоздя или винта. Для того чтобы менѣе ослабить главную балку, надобно помѣстить въ ней гнѣздо на срединѣ ея высоты, противъ неутральной оси.

Чтобы найти въ какомъ отношеніи ослабляется балка отъ вырубки въ ней гнѣзда, назовемъ h высоту, b ширину балки, h' высоту гнѣзда b' глубину на которую оно вруб-лено; тогда по правиламъ § 162 крѣпкость балки умень-шится въ отношеніи

$$(b h^3 - b' h'^3) : b h^3 \ldots\ldots (1.)$$

Для того, чтобы поперечная балка лежала твердо на мѣстѣ, шипъ долженъ имѣть значительную длину, а чтобы выдер-живать больше грузу онъ долженъ имѣтъ достаточную вы-соту; но глубокое и высокое гнѣздо ослабляетъ главную балку. Чтобы не ослаблять главной балки и вмѣстѣ съ тѣмъ усилить вязку прибавляютъ къ шипу *подмогу* или *заплечье* (shoulder). Такая вязка изображена на чертежѣ 191: A есть поперечный разрѣзъ главной балки, B по-перечная балка, примыкающая къ главной, C есть подмога передающая грузъ поперечной бал-ки на главную, она проникаетъ въ главную балку на шестую долю высоты поперечной бал-ки; подошва ея отстоитъ отъ верхней грани этой балки на двѣ трети или три четверти ея высоты. D есть собственно шипъ, котораго высота составляетъ только шестую долю вы-соты поперечной балки, а длина вдвое болѣе его высоты: онъ имѣетъ назначеніе удерживать на мѣстѣ подмогу, ко-торая безъ него могла бы выскочить изъ своего гнѣзда.

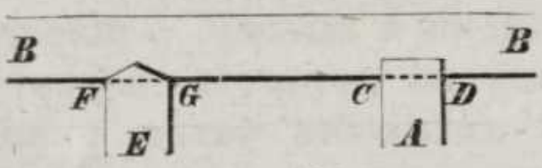


Чер. 191.

Выдѣлываемыя руками гнѣзда имѣютъ всегда прямо-угольную форму, а при употребленіи машинъ они высвер-ливаются и хотя длиныя грани ихъ плоски, но конецъ бываетъ полуцилиндрическій, а потому и шипъ долженъ имѣть туже форму.

319. Вязка балокъ съ подпорками. Когда балка при-мыкаетъ концомъ своимъ къ стойкѣ, то ихъ можно свя-зать шипомъ съ подмогою, которая можетъ быть похожа на показанную на чер. 191; но шипъ долженъ стоять на ребро, то есть меньшіе его размѣры должны быть горизон-тальны, для того чтобы возможно менѣе ослабить стойку.

Когда балка должна лежать на подпорѣ или на стойкѣ, то вязка можетъ состоять изъ небольшаго шипа на верху стойки и такого же гнѣзда въ балкѣ съ нижней ея сторо-ны. Но есть и другія вязки, изъ которыхъ двѣ показаны на чертежѣ 192. BB есть балка, A стойка, которой верхъ

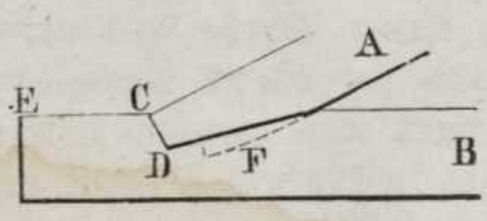


Чер. 192.

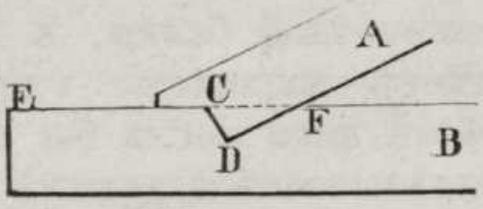
входитъ во врубку или чашку сдѣланную въ нижней сторонѣ балки; врѣзка эта дѣлается не во всю ширину балки, а только съ боковъ; по срединѣ остается нетронутая часть въ родѣ шипа, или *потайной шипъ* (bridle) для принятія котораго дѣлается въ стойкѣ врубка, на чертежѣ показано дно этой врубки пунктирной линіей CD. Стойка E связана съ балкой такой же чашкой съ шипомъ, но чашка имѣетъ здѣсь форму треугольника, которую Тредгольдтъ пропочитаетъ въ этомъ случаѣ формѣ четыреугольной. Отъ предлагаетъ также обчерчивать чашку по дугѣ круга, но опыты Годжкансона показываютъ что кругло обдѣланныя подпоры слабѣе плоскихъ (§ 158) поэтому сферическихъ и цилиндрическихъ чашекъ не должно употреблять.

Тѣже самыя вязки годятся и тогда, когда стойки опираются по балку.

320. Вязка распорокъ со струнами. Распорка и струна встрѣчаясь подъ острымъ угломъ связываются зубомъ на концѣ распорки и врубкою въ струнѣ, или шипомъ при распоркѣ и гнѣздомъ въ струнѣ. Чертежи 193 и 194 пред-



Чер. 193.



Чер. 194.

ставляютъ примѣры такихъ вязокъ: въ каждомъ чертежѣ B есть струна, балка или прогонъ, A распорка или стропильная нога; CD есть зубъ при распоркѣ, входящій во врубку или башмакъ струны, онъ ограниченъ плоскостью которая въ чертежѣ 193 дѣлитъ пополамъ тупой уголъ между направленіями распорки и струны, и толщина его равна половинѣ толщины распорки; въ чертежѣ 194 CD перпендикулярно къ направленію распорки и болѣе половины ея толщины. Въ чертежѣ 193 пунктирныя линіи означаютъ потайной шипъ, котораго ширина составляетъ пятую долю ширины распорки; вязка чертежа 194 также сдѣлана съ потайнымъ шипомъ F, который принадлежитъ струнѣ, между тѣмъ какъ гнѣздо сдѣлано въ рас-

поркѣ; ширина этаго шипа составляетъ пятую долю ширины струны.

При этихъ вязкахъ надобно оставлять между башмакомъ CD и концомъ E струны такое разстояніе, чтобы сопротивленіе скалыванію соотвѣтствовало горизонтальному распору ноги A; пусть этотъ распоръ есть H, b ширина струны въ дюймахъ, l растояніе отъ башмака до конца струны, f' сопротивленіе дерева скалыванію, s коефицентъ благонадежности.

$$l = \frac{s\,\mathrm{H}}{f'\,b} \ldots\ldots\ldots\ldots (1.)$$

По мнѣнію Тредгольда коефицентъ благонадежности въ этомъ случаѣ можно принять равнымъ 4, а сопротивленіе скалыванію еловаго лѣсу есть 17 пудовъ на квадратный дюймъ, дубоваго же 64 пуда, а потому:

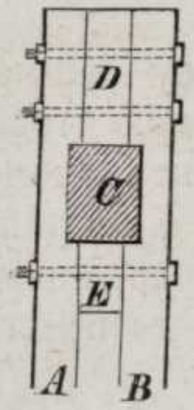
$$\text{для ели } l = \frac{4}{17}\,\frac{\mathrm{H}}{b}\text{; для дуба } l = \frac{1}{16}\,\frac{\mathrm{H}}{b} \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Вязки эти можно усиливать употребленіемъ болтовъ или хомутовъ въ такомъ направленіи, которое составляло бы съ направленіемъ струны уголъ сколь можно тупѣе; желѣзная скрѣпа имѣетъ назначеніемъ удержать ногу на мѣстѣ въ случаѣ если бы струна раскололась (чер. 197).

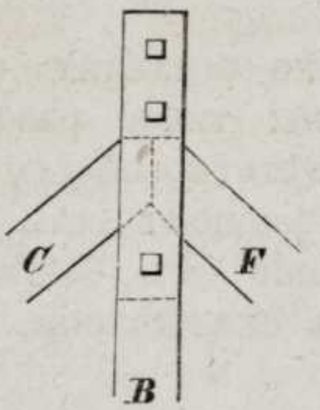
321. Бабка или стрѣла передаетъ упирающимся въ верхній ея конецъ ногамъ вѣсъ балки, привѣшенной къ нижнемуея концу или вѣсъ распорокъ упирающихся въ этотъ ея конецъ.

Нога или распорка можетъ быть связана съ бабкой также точно какъ и со струною (§ 320) т. е. зубомъ съ башмакомъ или шипомъ входящимъ въ гнѣздо бабки; разстояніе отъ точки упора до конца бабки опредѣляется по формулѣ (2.) предъидущаго параграфа. Балка подвѣшивается къ бабкѣ посредствомъ желѣзнаго хомута.

Но лучшіе дѣлать бабку изъ двухъ брусьевъ, тогда стропильныя ноги могутъ непосредственно упираться одна въ другую, какъ это показано въ фасадѣ на чертежѣ 196 и поперечномъ разрѣзѣ на чертежѣ 195. C и F суть концы двухъ стропильныхъ ногъ; A и B верхніе концы брусьевъ двойной бабки, съ врѣзками для принятія ногъ, они связаны болтами и между ними помѣщаются подушки D и E. Если эти чертежи опрокинуть, то они будутъ



Чер. 195.



Чер. 196.

представлятъ нижній конецъ бабки, C и F будуть опирающіеся въ нее распорки; въ чертежѣ 195 C можетъ представлять горизонтальную балку подвѣшенную къ бабкѣ.

322. Нагели суть деревянные гвозди употребляемые для скрѣпленія вязокъ; Г. Парсонъ производилъ опыты надъ сопротивленіемъ нагелей поперечному перелому, подробности объ этихъ опытахъ можно найти въ сочиненіи Мьюрья On ship building и главные для практики выводы изъ этихъ опытовъ суть слѣдующіе:

I. Крайняя крѣпкость нагелей изъ Англійскаго дуба при переломѣ или скалываніи поперегъ волоконъ есть 110.76 пуда на квадратный дюймъ площади сѣченія.

II. Для проявленія этой крѣпкости связываемыя нагелями штуки деревъ должны имѣть толщину равную по крайней мѣрѣ тремъ діаметрамъ нагеля.

323. Гвозди сдѣланныя руками должно предпочитать приготовленнымъ машинами въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ они подвергаются большимъ усиліямъ, потому что ручные гвозди крѣпче машинныхъ.

Длина гвоздей, которыми доски прибиваются къ балкамъ бываетъ въ два или два съ половиною раза больше толщины досокъ.

Вотъ выводы опытовъ произведенныхъ Биваномъ и приведенныхъ Тредгольдомъ надъ силою, когорую нужно употребить для того, чтобы вытащить гвоздь забитый въ сухое норвежское словое дерево поперегъ волоконъ.

Длина гвоздей въ дюймахъ.	Число гвоздей на фунтъ.	Глубина забивки въ дюймахъ.	Сила нужная для выдернутія въ пудахъ.
0.44	4117	0.4	0.61
0.53	2889	0.44	1.02
1.25	558	0.5	1.61
1.00	343	0.5	1.99
2.00	125	1.5	8.86
2.50	66	1.0	5.18
2.50	66	1.5	9.05
2.50	66	2.0	14.68

На сколько можно судить по этимъ опытамъ кажется справедливымъ такой законъ: *сила нужная для вытаскиванія гвоздей пропорціональна третьей степени квадратнаго корня глубины, на которую они забиты.* Сила эта возрастаетъ съ увеличеніемъ толщины гвоздя, но не извѣстно по какому закону.

Биванъ производилъ также опыты надъ вытаскиваніемъ $2^1/_2$ дюймовыхъ гвоздей (по 66 на фунтъ) забитыхъ на 1 дюймъ въ дерево разныхъ породъ.

		Пуд.
Поперегъ волоконъ	въ ель	5.18
	въ дубъ	14.04
	въ ильмъ	9.05
	въ березу	18.47
	въ свѣжій платанъ	8.64
Вдоль волоконъ	въ ель	2.41
	въ ильмъ	7.11

Для того чтобы оторвать одну отъ другой двѣ доски, сколоченныя двумя такими гвоздями нужна была сила.

	Пуд.
Ель $^7/_8$ дюйма толщины	19.72
Дубъ 1 дюймъ толщины	27.94
Ясень 1 дюймъ толщины	39.32

324. Винты. Удерживающая сила винтовъ, ввинченныхъ въ дерево вѣроятно почти пропорціональна ихъ діаметру и глубинѣ, на которую они ввинчены. По опытамъ произведеннымъ Биваномъ надъ силою нужною для вытаскиванія изъ деревянныхъ досокъ винтовъ, діаметромъ 0.22 дюйма, глубиною врѣзки 0.035 дюйма и съ 12 ходами на дюймъ, оказалось что что вытаскиваніе ихъ изъ $^1/_2$ дюймовыхъ досокъ требуетъ силы

	Пуд.
изъ березы отъ	12.74—27.41
изъ ясеня	21.88
изъ дуба	21.04
изъ краснаго дерева	21.32
изъ ильма	18.41
изъ платана	22.98

325. Болты. Подгаешники. Правило по которому опредѣляется толщина болтовъ для сопротивленія скалыванію при деревянныхъ вязкахъ дано въ § 314.

Боковыя поверхности дерева должны быть предохранены отъ раздробляющаю усилія шляпки болта или гайки посредствомъ плоскаго кольца называемаго *подгаешникомъ* (washer); площадь подгаешника должна быть покрайней мѣрѣ въ столько разъ больше площади сѣченія болта, во сколько разъ вязкость желѣза болѣе сопротивленія дерева раздавливанія т. е. для сосны діаметръ подгаешника долженъ быть въ $3^1/_2$, а для дуба въ $2^1/_2$ раза болѣе діаметра болта.

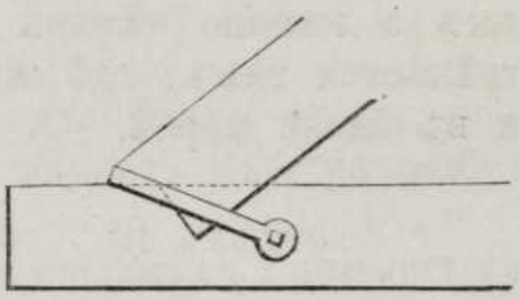
Когда болтъ имѣетъ наклонное направленіе относительно бруса, сквозь который онъ проходитъ, то въ брусѣ можетъ быть сдѣлана врубка, ограниченная плоскостью, которая перпендикулярна къ направленію болта и на которую ляжетъ подгаешникъ; или можно употребить чугунный косой подгаешникъ, котораго одна грань прилегала бы ко дну врубки сдѣланной въ брусѣ, а другая была бы перпендикулярна къ направленію болта; на эту грань будетъ опираться гайка или шляпка болта.

Винты и болты дѣлаются обыкновенно по слѣдующей пропорціи: глубина нарѣзки составляетъ одну десятую, а высота хода одну пятую часть внутренняго діаметра. Если болтъ нужно часто вынимать, то его укрѣпляютъ тѣмъ, что на концѣ его дѣлается прорѣзъ, въ который закладывается чека.

326. Желѣзныя скобы употребляются также, какъ и болты для связыванія деревянныхъ частей и имѣютъ предъ ними то преимущество, что для ихъ помѣщенія не нужно вырѣзывать столько дерева, сколько для болтовъ. Обыкновенно ширина скобы бываетъ отъ четырехъ до осьми разъ больше ея толщины. Когда скоба имѣетъ на концѣ проушину или отверстіе для пропуска болта, то она должна быть тутъ уширена или утолщена для того чтобы скоба имѣла у проушины по крайней мѣрѣ такую же площадь поперечнаго сѣченія, какъ и въ другихъ мѣстахъ. Когда скоба должна обнимать брусъ или нѣсколько брусьевъ, то ей можно дать форму кольца или хомута и надѣть на брусъ съ конца; если же неудобно или невозможно передвинуть ее отъ конца на свое мѣсто, то она должна охватывать брусъ съ трехъ сторонъ и имѣть на концахъ винты одинакой площади сѣченія съ плоскими ея частями, на эти

концы накладывается поперечная скоба съ проушинами и притягивается гайками, которые навинчиваются на винты.

327. Хомуты употребительны для подвѣшиванія балокъ и для принятія и передачи горизонтальнаго распора стропильной ноги или распорки. Когда струна или бабка деревянныя, тогда хомутъ прикрѣпляется къ нимъ болтами (чер. 197); когда же она желѣзная, тогда хомутъ составляетъ съ нею одно цѣлое и называется стременемъ.



Чер. 197.

328. Желѣзныя полосы могутъ замѣнять деревянныя струны и бабки во всѣхъ деревянныхъ фермахъ и связяхъ, гдѣ эти части подвергаются только вытягивающему усилію, не соединенному со сгибомъ и не переходящему никогда въ распоръ. Съ деревянными частями ихъ можно связывать посредствомъ винтовъ съ гайками, проушинъ съ болтами или съ чеками, стременами или башмаками; они должны быть такъ устроены, чтобы ихъ можно было стягивать посредствомъ винтовъ или клиньевъ и чтобы ихъ концы или точки прикрѣпленія могли перемѣщаться сообразно измѣненіямъ температуры, считая разширѣніе желѣза въ 0,0012 длины полосы на 80° Р.

329. Желѣзные башмаки, обдѣланные для принятія деревянныхъ брусьевъ, доставляютъ возможность связывать брусья въ деревянной фермѣ, особенно тамъ, гдѣ сходятся распорки или гдѣ струны и затяжки примыкаютъ къ къ распоркамъ. Если башмакъ подверженъ одному только распору, то его хорошо дѣлать изъ чугуна, но если на него дѣйствуютъ хоть нѣсколько значительныя вытягивающія усилія, то желѣзо должно быть предпочитаемо.

330. Предохраненіе желѣза отъ ржавчины. Желѣзныя скрѣпы при деревѣ, особенно при дубѣ, очень скоро ржавѣютъ если не принято никакихъ мѣръ для ихъ предохраненія. Вотъ самыя дѣйствительныя для этого средства.

I. Вываривaніе въ каменноугольной смолѣ особенно послѣ нагрѣванія желѣза до температуры плавленія свинца (264° Р.)

II. Нагрѣваніе желѣза до температуры плавленія свинца и покрытіе его въ горячемъ состояніи холоднымъ льня-

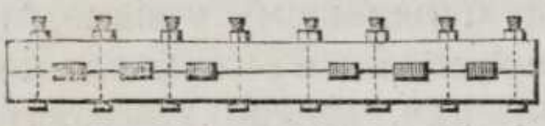
нымъ масломъ, которое высыхая образуетъ родъ лаку: это есть вороненіе желѣза, его рекомендуетъ Смитонъ.

III. Покрытіе желѣза масляною краскою, которую должно возобновлять по временамъ.

IV. Покрываніе желѣза цинкомъ или гальванизированіе его. Это очень хорошее средство, если только желѣзо не подвергается потомъ дѣйствію кислотъ, разрушающихъ цинкъ а именно сѣрной или хлористоводородной; первая встрѣчается тамъ, гдѣ жгутъ много каменнаго угля, вторая въ близи морей.

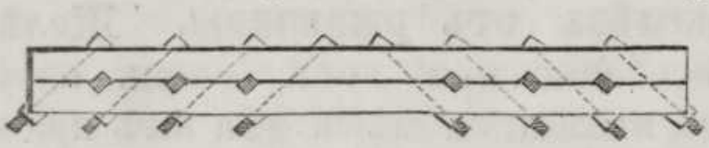
ОТДѢЛЪ III. СОСТАВНЫЯ БАЛКИ И ДУГИ.

331. Составныя балки. На чертежѣ 198 представлены два бруса связанные въ одинъ, вдвое большей толщины посредствомъ болтовъ и помѣщенныхъ между ними шпонокъ, которыя мѣшаютъ одному брусу скользить по другому. По срединѣ не должно быть ни болта ни шпонки потому что гутъ не бываетъ никакого сдвигающаго усилія, а моментъ сгиба имѣетъ наибольшую величину и потому не слѣдуетъ уменьшать тутъ момента инерціи. Волокна шпонокъ должны быть отвѣсны. По Тредголду сумма высотъ всѣхъ шпококъ должна быть равна одной съ третью высоты всей балки, а ширина каждой шпонки должна быть вдвое болѣе ея высоты или толщины.



Чер. 198.

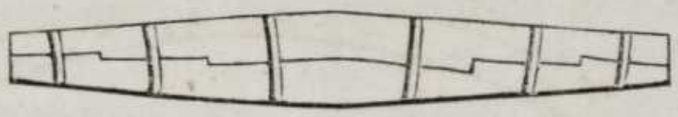
Принимая во вниманіе, что напряженіе балки по нейтральной оси равносильно распору направленному подъ угломъ въ 45°, въ соединеніи съ натянутостью наклоненною тоже подъ угломъ въ 45°, но въ другую сторону (§ 162), можно полагать что лучшее положеніе шпонокъ будетъ то, которое показано на чер. 199, съ волокнами идущими по направленію распора, а положеніе болтовъ совпадающее съ направленіемъ натянутости. Но такое расположеніе болтовъ и шпонокъ въ составныхъ балкахъ еще никогда не было испытано.



Чер. 199.

На чертежѣ 200 брусья составляющія балку врѣзаны зубьями одинъ въ другой, при этомъ потеря въ высотѣ

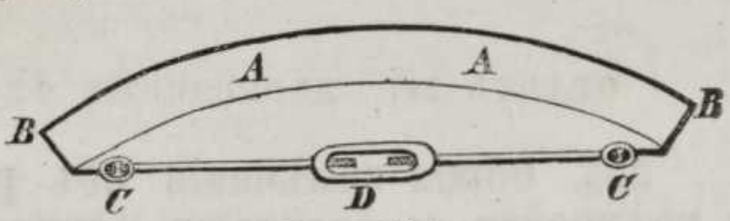
балки равна глубинѣ зубьевъ. Поверхности упора зубьевъ обращены въ верхнемъ брусѣ внаружу, а въ нижнемъ внутрь, для того чтобы препятствовать скольженію брусьевъ однаго по другому. По опытамъ Дюгамеля соединенная высота всѣхъ зубьевъ должна составлять двѣ трети высоты всей балки. Балка посрединѣ сдѣлана толще нежели у краевъ для того, чтобы можно было надѣть хомуты съ конца и нагнать ихъ ударами молота до назначенныхъ имъ мѣстъ.



Чер. 200.

Когда балка дѣлается изъ нѣсколькихъ брусьевъ какъ въ длину такъ и въ толщину, то стыки брусьевъ должны располагаться въ перевязку; нижніе брусья должны имѣть связи подобныя струнамъ (§ 314), а верхніе брусья имѣть плоскіе стыки. Верхнюю часть такой балки дѣлаютъ иногда изъ лиственнаго, а нижнюю изъ хвойнаго лѣса для того, чтобы воспользоваться различіемъ крѣпкости этихъ породъ лѣса при вытягиваніи и раздавливаніи.

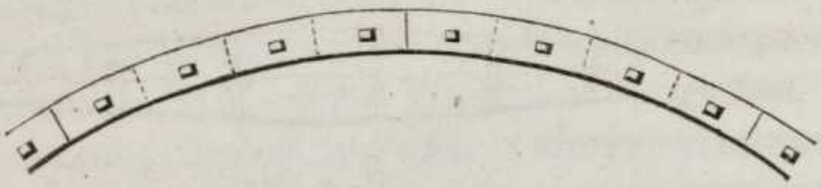
332. Кривые брусья получаются иногда изъ кокоръ или кницъ т. е. естественнаго криваго лѣсу. Прямыя брусья можно сгибать, распаривъ ихъ сначала для того, чтобы размягчить, потомъ винтами или хомутами притягиваютъ ихъ къ кривой формѣ и держатъ на ней пока они высохнутъ. При этомъ можно испортить лѣсъ, уменьшая его вязкость съ выпуклой стороны, если не принять слѣдующей мѣры предосторожности: $A\,A$ есть сгибаемый брусъ (чер. 201); онъ упирается концами въ загнутые края полосы $B\,B$ котельнаго желѣза имѣющіе проушины $C\,C$ и стягиваемыя затяжкой, прерванной хомутомъ D, въ которомъ есть гаешные нарѣзы въ противныя стороны. Завертывая хомутъ стягиваютъ полосу и сгибаютъ брусъ, котораго всѣ волокна при этомъ сжимаются и котораго вязкость не страдаетъ; такимъ образомъ согнутыя брусья, какъ показалъ опытъ не уступаютъ въ крѣпкости естественно изкривленнымъ брусьямъ.



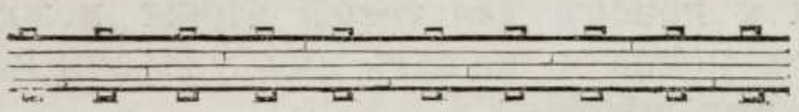
Чер. 201.

333. Составныя дуги по способу Филибера Делорма представлены на чертежахъ 202, 203 и 204. Первый изъ

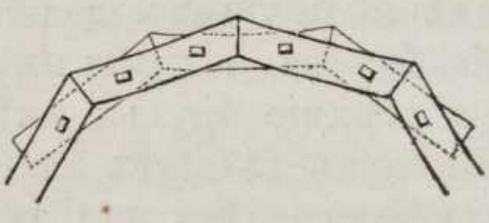
нихъ есть видъ съ боку, а второй планъ деревянной дуги или арки составленной изъ нѣсколькихъ рядовъ досокъ, поставленныхъ на ребро и расположенныхъ въ перевязку; доски связаны болтами или шпонками. Тутъ показаны обтесанныя по лекалу доски или выпиленныя изъ кривыхъ брусьевъ, на чертежѣ 204 представлена дуга изъ прямоугольныхъ досокъ.



Чер. 202.



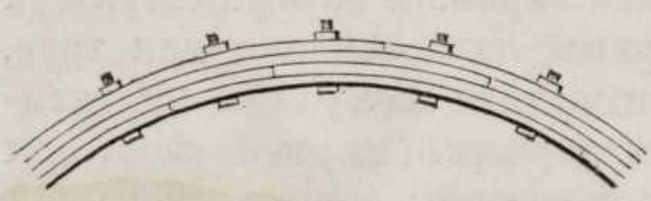
Чер. 203.



Чер. 204.

Такая составная дуга почти также крѣпка какъ сплошной кривой брусъ, котораго высота таже, а ширина меньше на одинъ слой досокъ.

334. Досчатая дуга (чер. 205) составляется изъ досокъ положенныхъ плашмя тоже въ перевязку и связанныхъ болтами: она очень употребительна въ мостахъ и стропилахъ и легко приготовляется, но по опытамъ Ардана ея крѣпкость меньше крѣпкости цѣльнаго бруса во столько же разъ во сколько единица меньше числа слоевъ, изъ которыхъ дуга составлена.



Чер. 205.

ОТДѢЛЪ IV. ДЕРЕВЯННЫЕ ФЕРМЫ И ШПРЕНГЕЛЯ.

335. Общія замѣчанія объ равновѣсіи, устойчивости и крѣпкости деревянныхъ фермъ. Общія правила объ равновѣсіи и устойчивости фермъ изъ всякаго матеріала, изложенныя въ IV Отдѣлѣ 1 Главы этой части въ § 111—133 и общіе законы крѣпкости матеріаловъ данныя въ V Отдѣлѣ въ § 142—180 достаточны для рѣшенія всѣхъ вопросовъ, касающихся равновѣсія, устойчивости и крѣпкости деревянныхъ строеній. Въ настоящемъ отдѣлѣ нужно будетъ изложить нѣкоторыя подробности, относящіяся къ часто встрѣчающимся на дѣлѣ случаямъ. При назначеніи попе-

речныхъ размѣровъ главныхъ частей деревяннаго строенія изъ сосноваго, еловаго или дубоваго лѣса, полагаютъ обыкновенно наибольшее ихъ напряженіе, какъ распоръ такъ и натянутость въ *28 пудовъ на квадратный дюймъ* площади сѣченія; если сравнить эту цифру съ вязкостью дерева, сопротивленіемъ раздробленію и коефицентомъ перелома этихъ породъ лѣса, то окажется что коефицентъ благонадежности принимается между 6 и 14 или среднимъ числомъ 10 какъ было сказано въ § 143.

336. Досчатыя настилки поддерживаются балками, которыя могутъ быть главныя, собственно *балки* (girders) или второстепенныя, поперечины или *пластины* (joists), лежащія на главныхъ балкахъ (§ 317, 318).

При положеніи досокъ прямо на главныя балки достигается наибольшая крѣпкость при наименьшей тратѣ на матеріалъ и работу первоначальной постройки; но поддержка строенія обходится дороже нежели при употребленіи поперечинъ, потому что досчатая настилка, которую надобно часто возобновлять, при поперечинахъ можетъ быть легче, нежели тогда когда она лежитъ непосредственно на балкахъ.

Здѣсь не будетъ говориться объ устройствѣ половъ въ жилыхъ домахъ, какъ предметѣ чуждомъ этому сочиненію, а будутъ описаны настилки мостовыхъ половъ и въ послѣдствіи настилки ростверковъ при устройствѣ основаній.

Для половыхъ настилокъ на мостахъ обыкновенно употребляютъ доски толщиною отъ 3 до 4 дюймовъ при поперечинахъ, расположенныхъ на разстояніи 2 или 4 футъ ось отъ оси. При этой толщинѣ, которая болѣе требуемой по сравненію крѣпкости матеріала съ наибольшимъ грузомъ, доски какъ показалъ опытъ хорошо выдерживаютъ удары и стираніе, которымъ онѣ подвергаются на мостахъ. Когда по мосту идетъ желѣзная дорога и рельсы поддержаны подушками, то поперечины моста располагаются подъ подушками.

Ширина поперечинъ составляетъ отъ одной восьмой до одной четверти разстоянія между ними; толщина ихъ или высота назначается соразмѣрно наибольшему грузу и разстоянію между балками. Для обыкновенныхъ деревянныхъ мостовъ (не желѣзно-дорожныхъ) грузъ на квадратный футъ полотна можетъ быть принятъ слѣдующій:

Вѣсъ тѣсно стоящихъ людей считаемый въ	3 пуда
Вѣсъ полотна со включеніемъ поперечинъ	1 „
	4 пуда
Если поверхъ настилки сдѣлана мостовая или насыпанъ щебень, то надобно прибавить	2,5
всего	6,5 пудовъ

При устройствѣ моста подъ желѣзную дорогу размѣры поперечинъ подобно такъ расчитывать что бы онѣ выдерживали грузъ двухъ колесъ самаго тяжелаго паровоза. Если же рельсы положены прямо надъ балками или очень близко къ нимъ и слѣдовательно поперечины могутъ имѣть размѣры меньшіе нежели въ обыкновенномъ мосту, то надобно ихъ дѣлать, какъ для простаго моста.

Лучшій способъ при проэктированіи поперечинъ состоитъ въ томъ, что бы назначить отношеніе ихъ высоты къ величинѣ пролета, принимая въ расчетъ ихъ жесткость, какъ это объяснено въ § 170; а потомъ назначить ширину сообразно крѣпкости матеріала.

Въ слѣдующихъ формулахъ предлагаются алгебраическія выраженія этихъ правилъ.

1й Случай. Для обыкновенныхъ мостовъ, пусть B означаетъ разстояніе между срединами поперечинъ, b ширину поперечинъ, h ихъ высоту, l разстояніе между срединами балокъ. Наибольшій моментъ сгиба будетъ.

$$\left.\begin{aligned} \frac{28}{6} b h^2 &= \frac{4}{8 \times 144} B l^2 \text{ при досчатой настилкѣ} \\ &= \frac{6,5}{8 \times 144} B l^2 \text{ при щебеночной насыпи} \end{aligned}\right\} \quad (1.)$$

откуда

$$\left.\begin{aligned} \frac{b}{B} &= \frac{l^2}{1344 h^2} \text{ при досчатой настилкѣ} \\ \frac{b}{B} &= \frac{l^2}{827 h^2} \text{ при щебеночной насыпи} \end{aligned}\right\} \quad (2.)$$

2й Случай. Для мостовъ подъ желѣзныя дороги, когда одинъ путь лежитъ на срединѣ между двумя балками; пусть W есть грузъ на двухъ ведущихъ колесахъ самаго тяжелаго поровоза, k ширина пути между центрами рельсовъ въ дюймахъ, l выражено тоже въ дюймахъ

$$\frac{28}{6} b h^2 = \frac{1}{4} W (l - k) \ldots\ldots\ldots (3.)$$

отсюда

$$b = \frac{3}{56} \frac{W (l - k)}{h^2} \ldots\ldots\ldots\ldots (4.)$$

Примѣръ. $l = 90$; $k = 60$; $h = 12$; $W = 830$ пудовъ, тогда $b = 9{,}26$.

Длина гвоздей назначается по правину § 323.

Когда настилка поддержана балками и поперечинами, то можно придать ей жесткость противъ скашиванія тѣмъ, что наслать доски діагонально. При употребленіи для этой цѣли особыхъ діагональныхъ связей, имъ надобно дать размѣры соотвѣственно сгибающей силѣ вѣтра, дующаго сбоку, которую расчитать по случаю VI таблицы при § 161, принимая найбольшую силу вѣтра въ 1,52 пуда на квадратный футъ; въ странахъ тропическихъ сила вѣтра доходить до величины вдвое большей.

Когда нѣтъ особенныхъ причинъ дѣлать настилку плотною, то хорошо класть доски оставляя между ними щели отъ $^1/_4$ до $^1/_2$ дюйма для стока дождевой воды и движенія воздуха.

337. Крыши. Кровли. Крышу составляютъ *кровля* и *стропила:* поверхность кровли выражается въ квадратныхъ саженяхъ. Въ прилагаемой таблицѣ показанъ вѣсъ одной квадратной сажени употребительнѣйшихъ кровель и наименьшіе углы наклоненія ихъ къ горизонту. Эти углы составляютъ соизмѣримыя части окружности, поэтому удобны для начертанія и крыши имѣютъ изящный видъ.

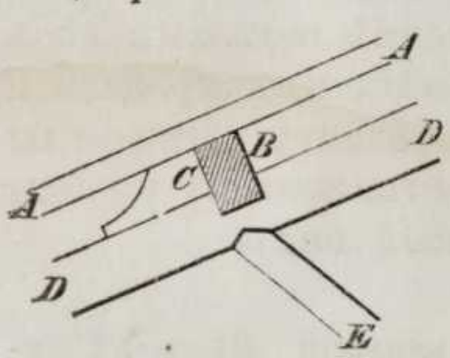
Матеріалы.	Наименьшій уголъ наклоненія	Вѣсъ въ пудахъ квадратной сажени.
Листовая мѣдь толщиною 0.022 дюйма	4^0	1.36
Листовой свинецъ	4^0	9.50
Листовой цинкъ	4^0	1.70 — 2.17
Листовое желѣзо $^1/_{16}$ дюйма толщиною плоское . . .	4^0	4.07
волнистое . . .	4^0	4.61
Чугунныя плиты $^3/_8$ дюйма толщиною	4^0	20.35
Сланецъ	$30^0 — 22^0 1/_2$	6.78 — 15.2
Черепица	$30^0 — 22^0 1/_2$	8.82 — 24.15

Матеріалы.	Наименьшій уголъ наклоненія.	Вѣсъ въ пудахъ квадратной сажени.
Тесъ $^3/_4$ дюйма толщины . . .	$22^1/_2$	3.39
Толь	4^0	0.4—0.6
Солома	45^0	8.82
Для дерева подъ сланецъ или черепицу надобно прибавить		7.46—8.82
На давленіе вѣтра по мнѣнію Тредгольда надобно прибавить на каждую квадратную сажень		54.

Мѣдные листы и толь прибиваютъ на досчатую настилку. Листовой свинецъ, цинкъ или желѣзо, а также сланецъ и черепицу прибиваютъ къ рѣшотинамъ т. е. брускамъ, имѣющимъ въ поперечныхъ размѣрахъ 1 и $1^1/_2$ дюйма или $1^1/_2$ и 3 дюйма, или къ досчатой настилкѣ. Желѣзо можно укрѣплять прямо на стропильныхъ ногахъ, также какъ и чугунныя плиты. Объ крышахъ съ желѣзными стропилами будетъ говориться послѣ.

Самый крутой наклонъ готическихъ крышъ есть 60^0.

338. Обрѣшотка и стропильныя ноги суть тѣ части крыши, которыя находятся непосредственно подъ кровлею. На чертежѣ 206 *A A* есть обрѣшотка: это бруски расположенные на разстояніи отъ 1 до 2 футъ или доски настланныя сплошь, обрѣшотка прибита къ поперечинамъ *B* гвоздями или привинчена. *Поперечины B* располагаются на разстояніи отъ 6 до 8 футъ одна отъ другой, онѣ нарубаются на стропильныя ноги *D* и удерживаются на мѣстахъ кулаками *C*, которые привинчины къ *стропильнымъ ногамъ D D*. Стропила суть деревянныя фермы, располагаемыя на разстояніи 10 или 5 футъ одна отъ другой; при разстоянія въ 5 футъ можно обрѣшотку класть прямо на стропила поперегъ ихъ. На чертежѣ показана подмога или подкосъ *E*, поддерживающій стропильную ногу въ томъ мѣстѣ, гдѣ она перекрещивается поперечиною *B*.



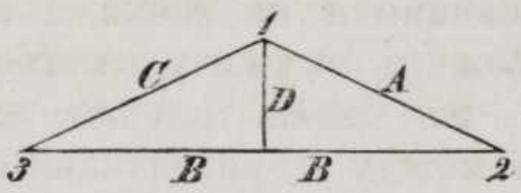
Чер. 206.

Діагональныя связи, препятствующія перекашиванію крыши, могутъ быть помѣщены или между стропильными

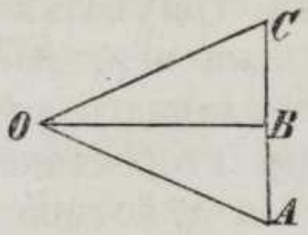
ногами или между поперечинами. Для начертанія ихъ нѣтъ никакихъ правилъ; но можно сказать что они будутъ довольно крѣпки и жестки, если поперечные ихъ размѣры будутъ неменѣе двадцатой доли ихъ длины въ свѣту или между опорными точками. Доски тесовой кровли могутъ быть положены для этой цѣли діагонально, а не перпендикулярно къ коню крыши, какъ это обыкновенно дѣлается.

339. Стропила суть фермы въ родѣ описанныхъ въ § 114—120, гдѣ изложены начала, по которымъ опредѣляются распоры и натянутости разныхъ частей фермы; здѣсь будутъ представлены примѣры наиболѣе употребительныхъ стропильныхъ фермъ.

I. *Треугольныя стропила* (чер. 207) имѣютъ форму равнобедреннаго треугольника, $B\,B$ есть струна или затяжка, A и C равнонаклонныя ноги; 2 и 3 суть точки опоры, 1 есть конь крыши, D деревянная бабка или привѣсный желѣзный прутъ, поддерживающій среднюю половину вѣса струны и настланнаго на ней пола или другаго груза.



Чер. 207.



Чер. 208.

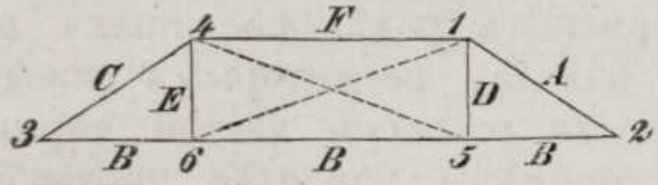
Въ діаграммѣ чер. 208 отвѣсная линія $C\,A$ есть грузъ въ точкѣ 1 т. е. половина вѣса всей крыши; $O\,C$ и $O\,A$, параллельныя стропильнымъ ногамъ, суть распоры вдоль ихъ, а $O\,B$ есть натянутость струны.

Алгебрически напряженія эти выражаются такъ:

Пусть W означаетъ вѣсъ стропила съ тою частью кровли средину которой оно поддерживаетъ, и часть пола лежащаго на струнѣ или другаго груза ею поддерживаемаго; c половина отверстія стропила; k его выносъ; H натянутость струны, T распоръ вдоль стропильной ноги.

$$H = \frac{W\,c}{4\,k};\quad T = \sqrt{H^2 + \frac{W^2}{16}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.)$$

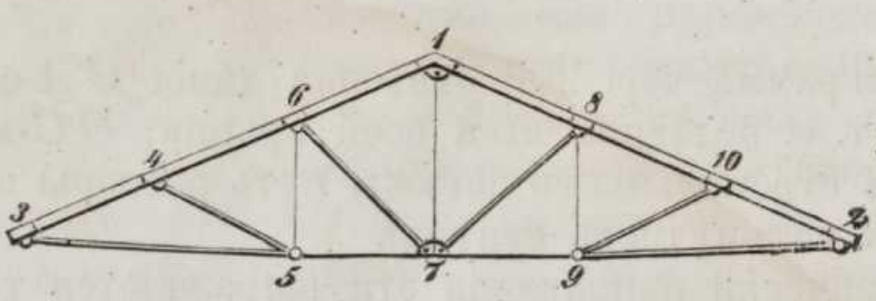
II. *Четыреугольное стропило.* На чер. 209 *B B B* есть струна, *A* и *C* равно наклонныя стропильныя ноги, *F* горизонтальный ригель; *D* и *E* бабки или прутья поддерживающія часть струны и полъ, который обыкновенно на ней лежитъ между точками 5 и 6. Таже діаграма силъ (чер. 208) что и для триугольнаго стропила годится и для этаго случая только равныя части *C B* и *B A* означаютъ грузы въ точкахъ 1 и 4 т. е. четверть вѣса кровли и стропила и половину вѣса пола; горизонтальная линія означаетъ въ одно и тоже время натянутость струны *B* и распоръ ригеля *F*.



Чер. 209.

Часть кровли выше *F* можетъ быть плоскою или поддержана триугольнымъ второстепеннымъ стропиломъ, похожимъ на чер. 207 и опирающимся на точки 1 и 4. Ригель *F* главнаго стропила можетъ служить въ тоже время струною второстепеннаго и въ этомъ случаѣ онъ подвергается дѣйствію разности между горизонтальнымъ распоромъ главнаго стропила и натянутостію струны второстепеннаго.

III. *Второстепенные шпренгеля при главномъ стропилѣ.* Точки въ которыхъ поперечины встрѣчаются съ стропильною ногою поддержнваются, какъ показано на чертежѣ 206, подмогами принадлежащими къ второстепеннымъ шпренгелямъ.



Чер. 210.

Чертежъ 210 изображаетъ стропило въ которомъ главная струна и привѣсные прутья сдѣланы изъ желѣза, но они могутъ быть всѣ или частью и деревянные.

Означимъ буквою W вѣсъ крыши разпредѣленный на точки 3, 4, 6, 1, 8, 10 и 2, такъ что на каждой крайней 3 и 2 лежитъ по одной двѣнадцатой долѣ этаго груза, а на каждой промежуточной по одной шестой его долѣ;

2—3 есть главная струна, 1—7, 6—5, 8—9 привѣсные прутья, 7—6, 7—8, 5—4, 9—10 подмоги или распорки.

1. *Главное стропило* 1 2 3. Грузъ въ точкѣ 1 надобно считать равнымъ $\frac{W}{2}$, напряженія вдоль составныхъ частей стропила найдутся по уравненію (1.)

2. *Второстепенныя стропила* 763, 782. Грузъ въ точкѣ 6 надобно считать состоящимъ изъ половины груза между 6 и 1 и половины груза между 6 и 3, всего половину груза между 1 и 3 или $\frac{W}{4}$. Стропила эти треугольныя, состоящія изъ двухъ ногъ и одной струны, и напряженія ихъ опредѣляются по правиламъ § 115; т. е. пусть H' означаетъ горизонтальную силу, T' распоръ дѣйствующій въ въ ногахъ 6—3, и 8—2; S' распоръ вдолъ ногъ 6—7 и 8—7; тогда

$$H' = \frac{W\,c}{12\,k};\quad T' = \sqrt{\left(H'^2 + \frac{W^2}{144}\right)};\quad S' = \sqrt{\left(H'^2 + \frac{W^2}{36}\right)} \quad (2.)$$

Привѣсный прутъ 1—7 поддерживаетъ двѣ трети груза лежащаго на 763 и двѣ трети груза 782 или $\frac{2}{3}\cdot\frac{2}{4}\cdot W = \frac{1}{3}W$; и грузъ этотъ сложенный съ $^1/_6$ W, лежащимъ непосредственно на точкѣ 1 составитъ полный грузъ этой точки равный $\frac{W}{2}$.

3. *Малыя второстепенныя* стропила 345, 9102. Каждая изъ точекъ 4 и 10 поддерживаетъ грузъ въ $^1/_6$ W; происходящія отъ этаго напряженія на части малаго стропила суть

$$H'' = \frac{W\,c}{12\,k};\quad T'' = S'' = \sqrt{\left(H''^2 + \frac{W^2}{144}\right)} \quad \ldots\ (3.)$$

Половина груза лежащаго на точкѣ 4, или $^1/_{12}$ W, подвѣшеша посредствомъ прута 6 5; и это вмѣстѣ съ $^1/_6$ W лежащимъ непосредственно на точкѣ 6 составитъ выше упомянутый грузъ $^1/_4$ W въ точкѣ 6. Тоже примѣчаніе относится къ привѣсному пруту 89.

4. *Равнодѣйствующія напряженій.* Натянутость между 5 и 9 есть сумма натянутостей главнаго и большаго второстепеннаго стропила; между 5 и 3 и между 9 и 2 есть

сумма натянутостей главнаго, большаго и малаго второстепенныхъ стропилъ т. е.

$$H + H' = \frac{W c}{3 k}; \; H + H' + H'' = \frac{5 W c}{12 k} \quad \ldots\ldots (4.)$$

Распоръ вдоль стропильныхъ ногъ между 1 и 6 происходитъ отъ одного главнаго, между 6 и 4 отъ главнаго и большаго второстепеннаго, между 4 и 3 отъ всѣхъ трехъ.

5. *Общій случай.* Предположите что стропильная нога 13 или 12 дѣлится не на три, какъ на чертежѣ 210, а на n равныхъ частей; тогда число привѣсныхъ прутьевъ будетъ подъ каждою ногою $n-2$, подъ обѣими $2n-4$, кромѣ средняго прута 1 7; число подмогъ подъ каждою ногою есть $n-1$, всего же $2n-2$. Центровъ сопротивленія будетъ по $n-1$ на каждой ногѣ, а вмѣстѣ съ конемъ крыши $2n-1$, и на каждомъ будетъ лежать непосредственный грузъ кровли $\frac{W}{2n}$.

Полный грузъ на конѣ 1 есть по прежнему $\frac{W}{2}$ т. е. $\frac{W}{2n}$ непосредственно $\frac{W}{2}\left(1-\frac{1}{n}\right)$ передаваемаго привѣснымъ прутомъ.

Въ каждомъ второстепенномъ стропилѣ, отстоящемъ отъ коня на m дѣленій, на вершинѣ будетъ грузъ $\frac{n-m+1}{4n}$ W, т. е. $\frac{W}{2n}$ непосредственно лежащій и $\frac{n-m-1}{4n}$ W передаваемый привѣснымъ притомъ.

Напряженія вдоль распорокъ и струнъ каждаго стропила опредѣляются по правиламъ § 115 подобно тому какъ въ предъидущихъ примѣрахъ.

Вотъ формулы которыя даютъ въ шпренгелѣ, отстоящемъ на m дѣленій отъ коня крыши, величины H_m горизонтальной натянутости струны, T_m распора стропильной ноги, и S_m распора подмоги

$$H_m = \frac{W c}{4 n k} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5.)$$

$$T_m = \sqrt{\left(H^2{}_m + \frac{W^2}{16 n^2}\right)} = \frac{W}{4n}\sqrt{\left(\frac{c^2}{k^2}+1\right)} \quad \ldots\ldots\ldots (6.)$$

$$S_m = \sqrt{\left\{H^2{}_m + \frac{W^2}{16\,n^2}\cdot(n-m)^2\right\}} = \frac{W}{4\,n}\sqrt{\left\{\frac{c^2}{k^2}+(n-m)^2\right\}} \quad (7.)$$

Первыя двя выраженія независимы отъ m и слѣдовательно одинаковы во всѣхъ второстепенныхъ шпренгеляхъ. Означимъ натянутость H_m выраженіемъ $\frac{H}{n}$, а распоръ T_m выраженіемъ $\frac{T}{n}$; тогда полныя натянутости разныхъ частей струны и распоры разныхъ частей стропильной ноги начиная съ коня крыши будутъ

$$H\left(1+\frac{1}{n}\right);\ H\left(1+\frac{2}{n}\right)\ldots\ldots H\left(\frac{2\,n-1}{n}\right)\ldots\ldots\ldots (8.)$$

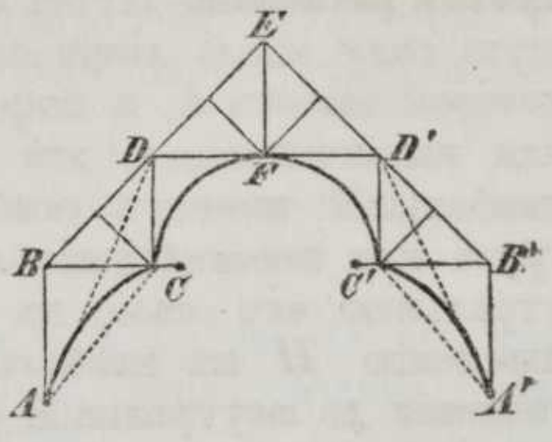
$$T;\ T\left(1+\frac{1}{n}\right);\ T\left(1+\frac{2}{n}\right)\ldots\ldots T\left(\frac{2\,n-1}{n}\right)\ldots\ldots (9.)$$

Въ деревянныхъ стропилахъ вмѣсто того чтобы передавать горизонтальную силу въ точкахъ 5 и 9, происходящую отъ подмогъ 45 и 910 самой струнѣ, передаютъ ее распоркѣ, которая кладется между точками 5 и 9 или ригелю поверхъ главной струны, тогда эта струна имѣетъ по всей длинѣ одинакую натянутость $H\cdot\frac{2\,n-1}{n}$; а струна имѣетъ большую поперечную крѣпкость потому что она усилена лежащими на ней ригелями.

IV. *Готическія стропила* принадлежатъ къ открытымъ фермамъ, о которыхъ говорено въ § 117; они производятъ распоръ на поддерживающія ихъ опорныя стѣны; имъ должно давать такую форму чтобъ этотъ распоръ былъ возможно менѣе.

Чертежъ 211 есть примѣръ готическаго стропила: BC и $B'C'$ суть горизонтальныя струны длиною въ одну четверть отверстія, EF бабка или привѣсный прутъ; остальныя брусья стропила суть распорки.

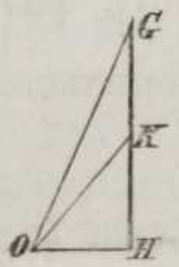
Распорки AC и $A'C'$ согнуты для удовлетворенія требованіямъ стиля; линіи ихъ сопротивленія параллельны стропильнымъ ногамъ и означены точками.



Чер. 211.

Кривыя распорки CF и $C'F$ не входитъ въ составъ собственно стропила а помѣщены на случай неправильности въ разпредѣленіи груза.

Линіи сопротивленія главнаго стропила суть горизонтальная DD' и пунктирныя наклонныя линіи AD и $A'D$ Діаграма силъ составляется слѣдующимъ образомъ: проведите OH горизонтально (чер. 212), HG отвѣсно и OG параллельно AD. Линію HG примите за три восьмыхъ вѣса стропила и груза имъ поддерживаемаго: тогда OH будетъ горизонтальное напряженіе, OG наклонный распоръ на устой по направленію AD.



Чер. 212.

Эта линія AD есть линія сопротивленія фермы или сложной распорки, состоящей изъ четырехъ распорокъ AB, AC, BD и CD и струны BC. Напряженія этихъ частей представляются слѣдующимъ образомъ:

Натянутость струны BC линіей OH (чер. 212); распоръ вдоль BD и AC линіею OK параллельною BD и AC и разсѣкающею HG пополамъ; распоръ по DC линіею KH представляющею три пятнадцатыхъ всего груза; распоръ по BA пятью третями линіи KH т. е. пять шестнадцатыхъ всего груза.

DED' есть второстепенное стропило, нагруженное въ точкѣ E четвертью всего груза; DD' есть струна этаго стропила и въ тоже время ригель главнаго стропила; натянутость происходящую отъ втораго стропила надобно вычесть изъ распора существующаго въ главномъ и тогда найдется распоръ ригеля, который окажется равнымъ двумъ третямъ OH. Распоръ по DE изображается одною третью OK.

340. Крѣпкость струны — балки, балки — распорки, и кривой распорки. Пусть H означаетъ наибольшую дѣйствующую силу вдоль линіи сопротивленія какой нибудь штуки, которой высота h, а ширина b, будетъ ли сила сжимающая или вытягивающая, это все равно. Пусть M означаетъ наибольшій моментъ сгиба происходящій отъ поперечнаго груза или несовмѣщенія линіи сопротивленія бруса съ неутральною его осью; въ послѣднемъ случаѣ M равно произведенію H на наибольшее разстояніе отъ линіи сопротивленія до неутральной оси; f' найбольшее безопасное напряженіе; тогда

$$f' = \frac{H}{b\,h} + \frac{6\,M}{b\,h^2} \ldots\ldots (1.)$$

Откуда при данномъ h можно опредѣлить b

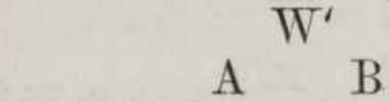
$$b = \left(\frac{H}{h} + \frac{6\,M}{h^2}\right) : f' \ldots\ldots (2.)$$

f' можно принимать въ 28 пудовъ въ деревянныхъ строеніяхъ.

341. Шпренгельныя фермы мостовъ. Мостовое полотно поддерживается двумя или большимъ числомъ шпренгелей, на которыхъ лежатъ поперечины моста (§ 336.) Главныя распорки въ фермѣ моста упираются въ устои каменные или деревянные, или связаны посредствомъ башмаковъ со струною. Самыя употребительныя формы для мостовыхъ шпренгельныхъ фермъ суть треугольникъ (чер. 207) и трапеція (чер. 209); законы ихъ равновѣсія и устойчивости тѣже, что и стропилъ съ тѣмъ только различіемъ, что въ мостовыхъ фермахъ должно принимать предосторожности противъ неравномѣрнаго распредѣленія груза какъ вдоль, такъ и поперегъ.

I. *Поперечная неравномѣрность груза* случается большею частью тогда, когда мостъ поддерживаетъ желѣзную дорогу о двухъ путяхъ. Отношеніе въ которомъ въ этомъ случаѣ разпредѣляется грузъ на фермы, когда ихъ только двѣ въ мосту, обратно пропорціонально разстояніямъ груза отъ фермъ (§ 112); но обыкновенно бываетъ болѣе двухъ фермъ, по большей части четыре; въ этомъ случаѣ для того, чтобы узнать какъ разпредѣляется грузъ, предполагаютъ что поперечины остаются прямыми и что разность между прогибами фермъ, а также и между лежащими на нихъ частями груза, пропорціональна разстоянію между ними.

Чтобы объяснить это представимъ себѣ что подвижной грузъ и фермы пересѣкаемыя поперечиною расположены слѣдующимъ образомъ



W' есть центръ тяжести подвижнаго груза, O средина мостоваго полотна, A, B, C, D фермы; тогда средній грузъ на каждой изъ четырехъ фермъ есть

$$\frac{W}{4}$$

Чтобы найти на сколько грузъ каждой фермы отклоняется отъ средней величины означимъ разстоянія

$$O\,B = z_1;\ O\,A = z_2;\ O\,C = -z_1;\ O\,D = -z_2;$$

Отклоненіе груза каждой фермы отъ средней его величины, если разстояніе фермы отъ средины означимъ z, будетъ $a\,z$, гдѣ a есть коефицентъ опредѣляемый по тому условію, что моментъ груза W' относительно средины полотна равенъ и противоположенъ моментамъ сопротивленія фермъ относительно той же оси. Условіе это выражается алгебрически уравненіемъ

$$W'z_0 = 2a(z_1^2 + z_2^2) \text{ отсуда } a = \frac{W'z_0}{2(z_1^2 + z_2^2)}$$

и части груза разпредѣляющіяся на разныя фермы суть:

$$\left.\begin{aligned}
&\text{на } A;\ \frac{W'}{4} + a z_2 = W'\left(\frac{1}{4} + \frac{z_0 z_2}{2(z_1^2 + z_2^2)}\right);\\
&\text{на } B;\ \frac{W'}{4} + a z_1 = W'\left(\frac{1}{4} + \frac{z_0 z_1}{2(z_1^2 + z_2^2)}\right);\\
&\text{на } C;\ \frac{W'}{4} - a z_1 = W'\left(\frac{1}{4} - \frac{z_0 z_1}{2(z_1^2 + z_2^2)}\right);\\
&\text{на } D;\ \frac{W'}{4} - a z_2 = W'\left(\frac{1}{4} - \frac{z_0 z_2}{2(z_1^2 + z_2^2)}\right);
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (1.)$$

Когда грузъ на фермѣ D, какъ это случается часто, оказывается отрицательнымъ, то это значитъ что эту ферму поднимаетъ вверхъ.

Для численнаго примѣра положимъ что по мосту идетъ дорога въ два пути и что фермы помѣщены прямо подъ рельсами; тутъ

$$z_1 = 3\,\text{Ф};\ z_2 = 8\,\text{Ф};\ z_0 = 5\tfrac{1}{2}\,\text{Ф}.$$

тогда грузъ на $A = W'\left(\frac{1}{4} + \frac{22}{73}\right) = +0.551\,W'$

„ „ $B = W'\left(\frac{1}{4} + \frac{33}{292}\right) = +0.363\,W'$

$$\text{грузъ на } C = W'\left(\frac{1}{4} - \frac{33}{292}\right) = +0.137\,W'$$

$$\text{„ „ } D = W'\left(\frac{1}{4} - \frac{22}{73}\right) = -0.051\,W'$$

Эти теоретическіе выводы оправданы опытами произведенными въ большихъ размѣрахъ.

Наибольшее вниманіе надобно обратить на самую большую изъ частей груза, на ту которая лежитъ на фермѣ A; для того чтобы она не превосходила половины всего груза нужно чтобы удовлетворено было слѣдующее уравненіе

$$z_1^2 = 2\,z_0\,z_2 - z_2^2 \ldots\ldots (2.)$$

Пусть на примѣръ $z_0 = 5\frac{1}{2}$ футъ, $z_2 = 10$ футъ; тогда $z_1 = \sqrt{10} = 3.16$.

II. *Продольная неравномѣрность груза* должна быть принимаема въ расчетъ вовсѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда ферма не триугольной системы. Самый важный на практикѣ случай тотъ, когда ферма имѣетъ трапецоидальную форму, будутъ ли распорки или ноги ея связаны струною какъ на чертежѣ 209 или упираться въ устои.

Есть два способа предъупредить вредное дѣйствіе неравномѣрнаго груза: придать жесткость продольной балкѣ или поставить раскосы.

Продольная балка есть вмѣстѣ съ тѣмъ и струна или она лежитъ на ригелѣ F, къ которому прикрѣплена болтами.

Пусть c означаетъ половину отверстія фермы, x разстояніе точекъ 1 и 4 отъ средины фермы. Грузъ W' находится въ одной изъ этихъ точекъ, а другая свободна отъ груза: продольная балка должна сопротивляться сгибающему усилію которое оказываетъ наибольшее дѣйствіе въ нагруженной и свободной точкахъ, производя въ нихъ прогибы въ противо-положныя стороны, въ одной внизъ а въ другой вверхъ; моментъ сгиба имѣетъ такую величину

$$M' = \frac{W'\,x\,(c - x)}{2\,c} \ldots\ldots\ldots\ldots (3.)$$

и производимое имъ напряженіе должно быть принимаемо въ расчетъ при назначеніи размѣровъ продольной балки. Когда напримѣръ $x = c : 3$, тогда $M' = W'\,c : 9$.

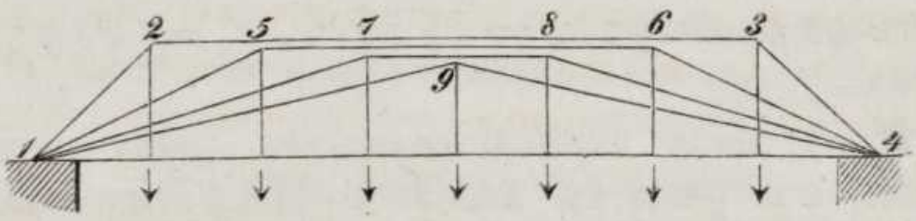
Чтобы противодѣйствовать неравномѣрному разпредѣ-

ленію груза можно поставить діагональные раскосы или крестовины, по направленіямъ означеннымъ точками на чертежѣ 209; раскосъ 4 5 дѣйствуетъ, когда грузъ находится въ точкѣ 4; а раскосъ 61 когда грузъ въ точкѣ 1. Наибольшій распоръ S вдоль раскоса имѣетъ слѣдующее выраженіе

$$S = W' \frac{c - x}{2ck} \sqrt{(4x^2 + k^2)} \quad \ldots . (4.)$$

въ которомъ k есть возвышеніе средины ригеля F надъ срединою струны B.

342. Сложныя шпренгельныя фермы. Общее понятіе объ сложныхъ шпренгеляхъ дано было въ § 121; чертежъ



Чер. 213.

213 представляетъ общій видъ фермы въ родѣ фермъ извѣстнаго Шафгаузенскаго моста.

Она состоитъ изъ четырехъ шпренгелей

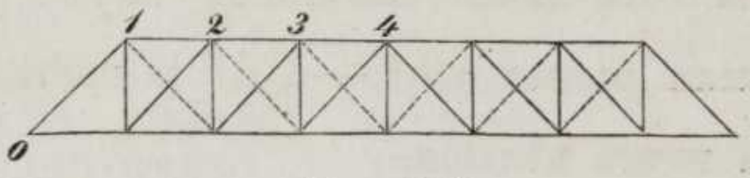
1 2 3 4	съ	грузами	въ	точкахъ	2 и 3
1 5 6 4	„	„	„	„	5 и 6
1 7 8 4	„	„	„	„	7 и 8
1 9 4	„	„	„	„	9.

но всѣ эти шпренгели имѣютъ общую струну; натянутость ея равна суммѣ натянутостей дѣйствующихъ въ каждомъ шпренгелѣ.

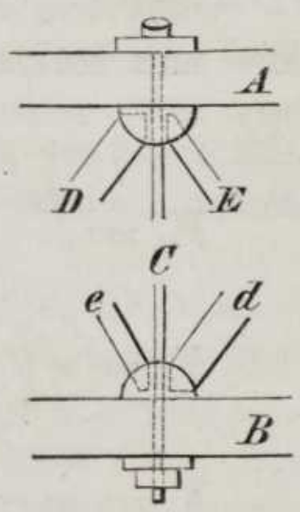
Отвѣсныя линіи на чертежѣ означаютъ привѣсные прутья, поддерживающіе струну, которая въ тоже время есть и продольная балка; на ней лежатъ поперечины мостоваго полотна.

Такое расположеніе раскосовъ какъ на этомъ чертежѣ, но упирающихся въ устои, а не связанныхъ струною, и съ балками на верху употребляется часто въ деревянныхъ мостахъ; для приданія раскосамъ жесткости ихъ надобно поддержать схватками, которыя должны имѣть положеніе сходное съ положеніемъ верхнихъ частей отвѣсныхъ прутьевъ чертежа 213.

343. Многораскосныя фермы въ родѣ представленной на чертежѣ 214, введены въ Америкѣ Гоу: верхній и нижній брусья, называемые *поясами* (boom) сопротивляются сгибающему моменту груза; они составлены изъ досокъ, расположенныхъ въ перевязку и наребро подобно составнымъ дугамъ (чер. 203); доски связаны болтами. Сдвигающему дѣйствію груза сопротивляются отвѣсные прутья сдѣланные изъ желѣза и діагональные деревянные раскосы, упирающіеся въ желѣзные или чугунные башмаки, какъ показано въ большомъ видѣ на чертежѣ 215. Тутъ A есть верхній или сжимаемый поясъ, B нижній или вытягиваемый, C отвѣсный прутъ или болтъ; D и d раскосы наклоненные отъ средины къ краямъ и означенные на чертежѣ 214 сплошными линіями; E и e раскосы идущіе въ обратную сторону отъ краевъ къ срединѣ какъ показано точками на чертежѣ 214, они тоньше первыхъ.



Чер. 214.



Чер. 215.

Однихъ первыхъ раскосовъ было бы достаточно если бы грузъ всегда равномѣрно распредѣлялся по всей фермѣ; но вторые необходимы для сопротивленія дѣйствію подвижнаго груза.

Дѣйствія груза на ферму могутъ быть разчитаны по способу § 160 приложенному къ нагрузкѣ отдѣльныхъ точекъ. Выраженіе момента сгиба у каждаго поперечнаго сѣченія дано въ § 161 случай VIII. При опредѣленіи сдвигающей силы надобно принимать въ расчетъ дѣйствіе подвижнаго груза какъ показано въ § 161, случай IX.

Вотъ самыя удобныя для практическаго употребленія формулы.

Одну изъ точекъ опоры означьте 0, потомъ точки дѣленія верхняго пояса означьте послѣдовательными цифрами 1, 2, 3 . . . до средины, какъ на чертежѣ 214.

Пусть n означаетъ номеръ какой нибудь точки дѣленія, N число всѣхъ частей въ фермѣ. На чертежѣ $N = 8$; средняя точка дѣленія имѣетъ цифру 4, при N нечетномъ нѣтъ средней точки.

Пусть k означаетъ высоту фермы считаемую между срединами верхняго и нижняго поясовъ; l длину ея; тогда $l : N$ есть длина каждой ея части, s длина діагонали одной панели равная $\sqrt{k^2 + \frac{l^2}{N^2}}$; w постоянный грузъ въ каждой точкѣ дѣленія.

Части поясовъ назовите номерами отъ краевъ къ срединѣ такъ чтобы на чертежѣ 214 первое дѣленіе верхняго пояса было между точками 1 и 2, а первое нижняго пояса между 0 и 1; привѣсные прутья и раскосы означьте номерами по тѣмъ верхнимъ точкамъ къ которымъ они примыкаютъ: такъ что если въ чертежѣ 215 номеръ привѣснаго прута C есть n, то раскосы D и E имѣютъ тотъ же номеръ, раскосъ d есть $n + 1$, а раскосъ e $n - 1$.

Означьте H_n распоръ или натянутость $n^{\text{й}}$ части верхняго или нижняго пояса; V_n натянутость прута n, T_n распоръ $n^{\text{аго}}$ толстаго раскоса, t_n распоръ $n^{\text{го}}$ тонкаго раскоса

$$H_n = \frac{(w + w')\,l}{k} \cdot \frac{n\,(N - n)}{2\,N}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.)$$

$$V_n = w\left(\frac{N+1}{2} - n\right) + w' \cdot \frac{(N-n).(N-n+1)}{2\,N} \quad (2.)$$

$$V = w + \frac{w'}{4} \cdot \left(\frac{N}{2} + 1\right) \ldots\ldots (3.)$$

Выраженіе (3.) есть натянутость средняго прута; оба выраженія (2 и 3) относятся къ тому случаю когда мостовое полотно лежитъ на нижнемъ поясѣ, а если оно на верхнемъ то надобно изъ каждаго вычесть $w + w'$.

$$T_n = \frac{w\,s}{k}\left(\frac{N+1}{2} - n\right) + \frac{w'\,s}{k} \cdot \frac{(N-n).(N-n+1)}{2\,N} \ldots (4.)$$

$$t_n = -\frac{w\,s}{k}\left(\frac{N-1}{2} - n\right) + \frac{w'\,s}{k} \cdot \frac{n.(n+1)}{2\,N} \ldots\ldots (5.)$$

Когда послѣднее выраженіе обращается въ нуль или дѣлается отрицательнымъ то тонкій раскосъ есть лишній.

Лучшій уголъ наклоненія раскосовъ есть 45^0; тогда $s = k \times 1.414$ и $l = k \times N$.

Вотъ численный примѣръ: пролетъ въ 80 футъ, раздѣленный на восемь панелей, ѣзда по низу

$l = 80$ ф; $N = 8$; $k = 10$ ф.; $s = 14.14$ ф.

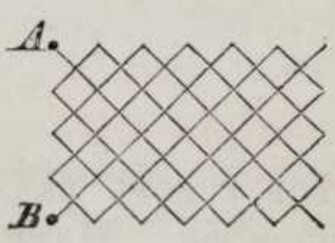
Пусть $w = 125$ пудъ; $w' = 250$ пудовъ.

n	H	V	T	t
1	1312.5	1312.5	1855.875	отрицатель.
2	2250	968.75	1369.8	отрицатель.
3	2812.5	656.125	924.2	176.75.
4	3000	437.5	530.25	

Изъ этого видно, что тонкіе раскосы нужны только въ двухъ среднихъ панеляхъ. Величина H для $n = 4$ относится только къ нижнему поясу, потому что верхній имѣетъ только по три части съ каждой стороны фермы отъ средины.

344. Рѣшетчатыя фермы предложены Итіелемъ Тоуномъ. Онѣ состоятъ изъ досокъ наклоненныхъ къ горизонту подъ угломъ въ 45^0, перекрещивающихся подъ прямыми углами и сколоченныхъ деревянными гвоздями.

Такая ферма даже безъ поясовъ какъ на чертежѣ 216 можетъ выдержать нѣкоторый грузъ; надобно только, чтобы она опиралась концами на устои; въ этомъ случаѣ моментъ ея сопротивленія въ какомъ нибудь поперечномъ сѣченіи есть сумма моментовъ сопротивленія разрѣзываемыхъ этимъ сѣченіемъ досокъ. Но такая постройка не выгодна въ экономическомъ отношеніи и не имѣетъ жесткости. Если поверху и по низу такой фермы положены прикрѣпленные къ ней пояса, то можно безъ чувствительной ошибки принять, что эти пояса въ выдерживаютъ все дѣйствіе момента сгиба, подобно многораскоснымъ фермамъ; а рѣшетки сопротивляются сдвигающему дѣйствію груза, разпредѣляещемуся по этому равномѣрно на всѣ доски.



Чер. 216.

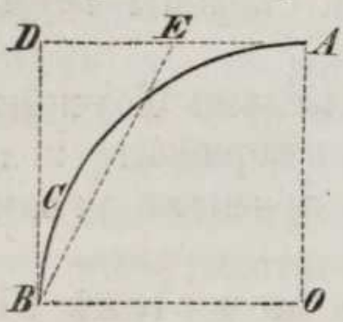
345. Деревянныя арки. Если деревянная арка имѣетъ почти или совершенно форму уравновѣшенной дуги однообразной крѣпкости при постоянномъ грузѣ и подвержена сверхъ того дѣйствію подвижнаго груза, то крѣпкость ея вычисляются по способамъ § 180.

Обыкновенно деревянная арка имѣетъ форму дуги круга; но формулы дуги параболы могутъ быть употребляемы на дѣлѣ безъ большой ошибки. Почти во всѣхъ случаяхъ можно разсматривать дугу какъ постоянную въ направленіи у пятъ; такъ что если опорныя точки непо-

движны, то надобно употреблять формулы отъ (30) до (38 *B*, четвертой задачи; при чувствительно подвижныхъ устояхъ уравненіе (30) должно быть замѣнено уравненіемъ (40).

При проэктированіи деревянной арки, надобно расчитать наибольшій ея прогибъ по уравненію (61) § 180 и всѣ брусья фермы такъ вычертить, чтобы полотно моста было возвышено противъ проэкта на величину этого прогиба по срединѣ пролета: тогда полотно будетъ имѣть требуемую проэктомъ форму, при полной нагрузкѣ.

Полукруглыя арки употребляются теперь иногда для поддержанія крышъ. Чер. 217 представляетъ половину такой



Чер. 217.

арки, которой центръ въ *O*: проведите *BD* и *AD* касательно къ аркѣ въ пятѣ ея и въ ключѣ, раздѣлите *AD* пополамъ въ точкѣ *E*. Если арки привѣшены или соединены вязками въ точкахъ *A* и *B*, то *EB* будетъ направленіе распора въ *B* и горизонтальная его составляющая равна вѣсу полуарки.

$$H = \frac{w r}{2} \ldots\ldots\ldots (1.)$$

здѣсь r есть радіусъ дуги, а w грузъ на единицу длины отверстія. Наибольшій моментъ сгиба при томъ же предположеніи имѣетъ мѣсто въ *C* т. е. на 30° выше пяты. Моментъ этотъ стремится увеличить кривизну въ этой точкѣ, величина его есть:

$$M = \frac{w r}{8} \ldots\ldots\ldots (2.)$$

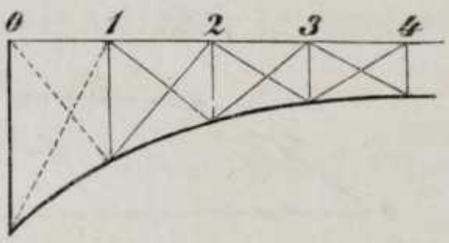
Величина прямаго распора въ *C* есть *H* данное уравненіемъ (1.) Вставляя эти величины въ формулы § 340 можно расчитать размѣры арки.

Предположеніе что арка подвѣшена въ точкахъ *A* и *B* на дѣлѣ неоправдывается, но оно не ведетъ ни къ какимъ значительнымъ ошибкамъ.

346. Деревянные наддужники. Когда деревянная арка поддерживаетъ горизонтальное полотно, то наддужникъ состоитъ изъ отвѣсныхъ брусьевъ или стоекъ передающихъ аркѣ грузъ полотна. На эти стойки кладется балка такихъ размѣровъ чтобы могла выдерживать грузъ между каждыми двумя стойками.

Для того чтобы вся арка, состоящая изъ нѣсколькихъ фермъ была жестка въ поперечномъ направленіи надобно поставить діагональные раскосы въ плоскостяхъ стоекъ; раскосы эти будутъ имѣть довольно крѣпкости и жесткости если поперечные ихъ размѣры будутъ не менѣе двадцатой доли ихъ длины.

Вдоль употребляются тоже діагональные раскосы показанные на чертежѣ 218. Чтобы найти напряженія этихъ раскосовъ означьте стойки номерами 0, 1, 2, 3 . . . начиная отъ края къ срединѣ и пусть N будетъ число продольныхъ дѣленій моста, n и $n+1$ номера стоекъ между которыми находится разсматриваемый раскосъ, s его длина, k отвѣсная высота одного его конца надъ другимъ, w' наибольшій подвижный грузъ на одной изъ стоекъ, T наибольшая величина распора вдоль раскоса, тогда



Чер. 218.

$$T = \frac{w' s}{k} \cdot \frac{n(n+1)}{2N} \quad \ldots\ldots\ldots (1.)$$

Для раскосовъ между 0 и 1 этотъ распоръ равенъ 0, все таки для большей жесткости, надобно и тутъ поставить раскосы такихъ же размѣровъ какъ между 1 и 2.

Можетъ случиться что когда подвижный грузъ занимаетъ часть полотна, то нѣкоторыя стойки будутъ дѣйствовать какъ привѣсные прутья. Чтобы узнать когда это можетъ случиться со стойкою номера n, назовите w'' постоянный грузъ на этой стойкѣ и вычислите величину слѣдующаго выраженія

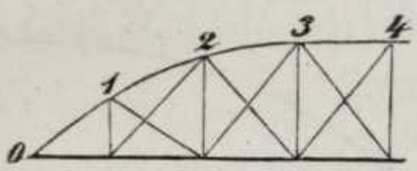
$$V = w' \frac{n(n+1)}{2N} - w'' \quad \ldots\ldots (2.)$$

если оно положительное, то на стойку дѣйствуетъ вытягиваніе; если нуль или отрицательное то стойка всегда подвергается сжиманію.

Есть другой способъ устройства, по которому діагонально кладутся желѣзные болты дѣйствующіе какъ струны, уравненіемъ (1.) опредѣляется ихъ натянутость. Стойки всегда будутъ подвержены сжиманію и наибольшій на нихъ грузъ выражается формулою

$$V' = w'' + w' \left\{ 1 + \frac{n(n-1)}{2N} \right\} \ldots . (3.)$$

347. Деревянныя стянутыя дуги. Ферма состоитъ изъ деревянной дуги упирающейся пятами въ струну, которая вмѣстѣ съ тѣмъ служитъ балкою, поддерживающею поперечины мостоваго полотна; эта струна — балка связана съ дугою посредствомъ деревянныхъ висячихъ схватокъ или желѣзныхъ привѣсныхъ прутьевъ, между которыми помѣщены діагональные раскосы (чер. 219.)



Чер. 219.

Струна — балка подвержена вытягиванію которое равно горизонтальному распору дуги, и сгибу отъ груза мостоваго полотна между привѣсными прутьями и размѣры ея опредѣляются по правилу § 340.

Натянутость привѣсныхъ прутьевъ опредѣляется по формулѣ (3.) § 346; наибольшій распоръ діагональныхъ раскосовъ по уравненію (1.) тогоже параграфа.

Струна стягивающая деревянную дугу никогда не должна дѣлаться изъ желѣза, потому что измѣненія въ длинѣ желѣзной струны отъ температуры могутъ производить изкаженія въ аркѣ и наконецъ разрушить ее.

348. Деревянные устои. Деревянные устои для поддержанія деревянной фермы дуговой, раскосной или рѣшотчатой могутъ состоять изъ нѣкотораго ряда стоекъ, имѣющихъ отвѣсное или нѣсколько наклонное направленіе и связанныхъ горизонтальными схватками и діагональными раскосами.

Связи эти должно класть во всѣхъ тѣхъ точкахъ, гдѣ есть вязки или наращиванія въ стойкахъ и даже въ промежуточныхъ точкахъ, разпредѣляя эти связи такъ чтобы свободная высота стойки не превосходила 18 или 20 ея діаметровъ. Наращиваніе стоекъ объяснено въ § 315.

Если устой подвергается боковому давленію отъ вѣтра или поддерживаемаго имъ груза, то надобно соблюдать слѣдующія правила:

1. Стойки у своихъ основаній должны быть на столько удалены одна отъ другой чтобы боковое давленіе не могло производить въ нихъ натянутости. Пусть напримѣръ устой деревяннаго моста состоитъ изъ двухъ рядовъ стоекъ; онъ подвергается давленію перпендикулярному къ стойкамъ,

котораго наибольшая величина есть H и которое дѣйствуетъ на высотѣ Y отъ основанія стоекъ, такъ что моментъ его есть HY; пусть W означаетъ полный вѣсъ устоя, а B разстояніе между рядами стоекъ у ихъ основанія, тогда сдѣлайте

$$B = \frac{2HY}{W} \quad \ldots\ldots (2.)$$

и ни въ одной точкѣ устоя не будетъ натянутости. При такомъ устройствѣ весь грузъ устоя W сосредоточивается въ одномъ ряду стоекъ во время дѣйствія наибольшаго распора. Въ другихъ случаяхъ грузъ въ томъ ряду стоекъ, который далѣе отстоитъ отъ подверженнаго горизонтальному давленію, есть

$$\frac{W}{2} + \frac{HY}{B}.$$

Когда въ устоѣ болѣе двухъ рядовъ стоекъ, тогда означьте n число рядовъ, которые положимъ равно отстоятъ одинъ отъ другаго, пусть B разстояніе между крайними рядами. Означимъ P ту часть груза устоя которая падаетъ на дальнѣйшій, P' на ближайшій рядъ стоекъ къ точкѣ приложенія распора H.

$$P = \frac{W}{n} + \frac{HY\,n\,(n-1)^2}{B\,((n-1)^2 + (n-3)^2 + \ldots)} \quad \ldots\ldots (3.)$$

$$P' = \frac{W}{n} - \frac{HY\,(n-1)^2}{B\,((n-1)^2 + (n-3)^2 + \ldots)} \quad \ldots\ldots (4.)$$

Въ знаменателѣ числа $(n-1)$, $(n-3)$ продолжаются до перваго отрицательнаго члена.

Самая выгодная величина для B есть та при которой $P' = 0$ или

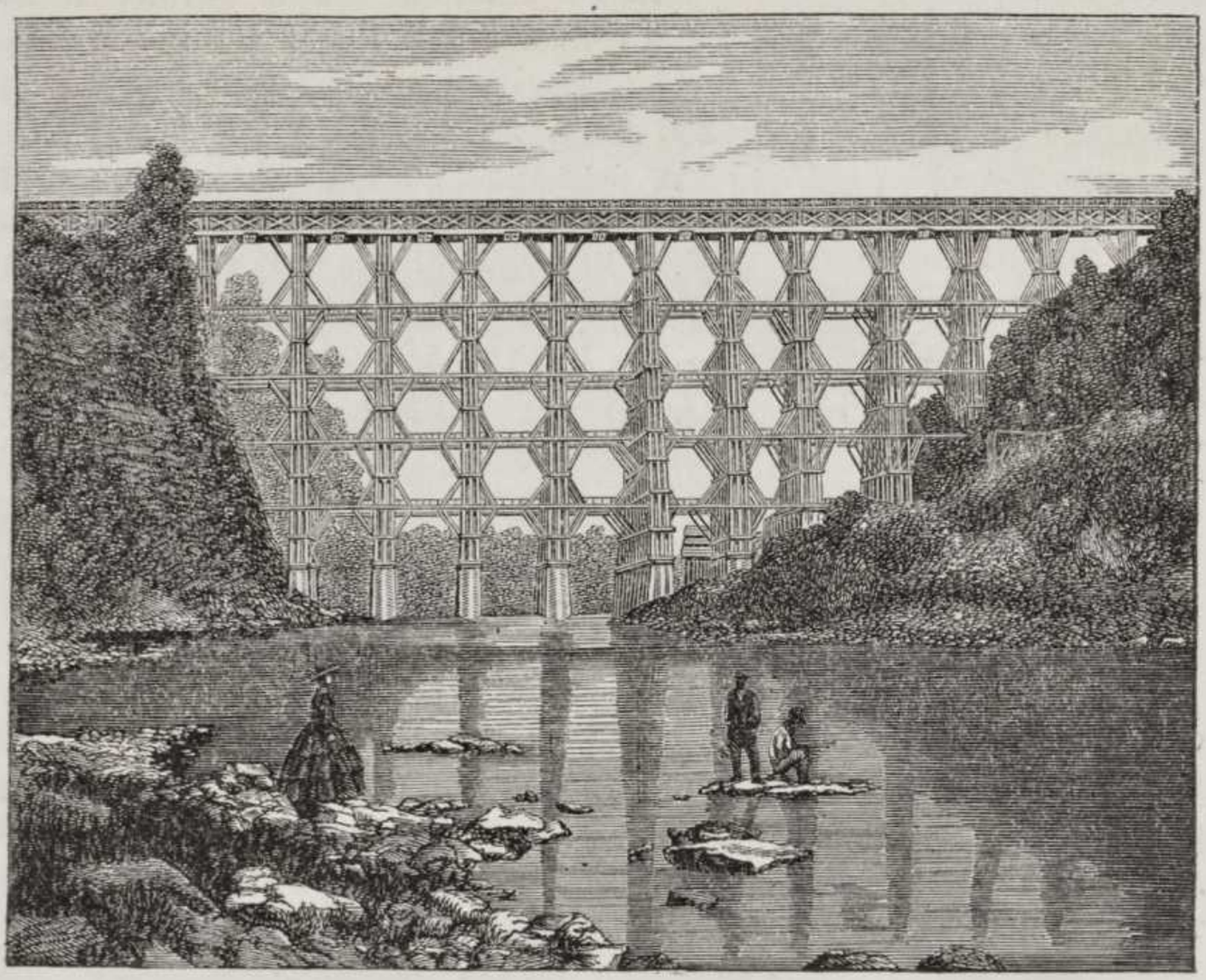
$$B = \frac{HY\,n\,(n-1)^2}{W\,((n-1)^2 + (n-3)^2 + \ldots)} \quad \ldots (5.)$$

тогда

$$P = \frac{2W}{n}$$

II. Горизонтальныя связи и діагональные раскосы или крестовины должны быть разчитаны такъ, чтобы могли

сопротивляться горизонтальному распору; способъ расчета надобно употребить такой какъ и для привѣсныхъ прутьевъ



Чер. 220. Портеджскій мостъ въ Америкѣ.

и діагональныхъ раскосовъ многораскосной фермы при дѣйствіи сдвигающей силы, которой величина вездѣ одинакова и равна *H*.

349. Кружала. Общій составъ и назначеніе кружалъ объяснены въ § 279; здѣсь будетъ говориться объ фермахъ или ребрахъ поддерживающихъ опалубку.

I. *Дѣйствіе груза на кружала.* Кладку свода на кружалахъ должно производить симетрически съ обѣихъ сторонъ, чтобъ ихъ не перекосило, тогда нагрузка ихъ будетъ производиться ровно, подвигаясь съ обоихъ концовъ къ срединѣ и наибольшее усиліе сжимающее или сгибающее будетъ дѣйствовать передъ самымъ смыканіемъ свода или положеніемъ ключа.

Еслибъ не было тренія то можно былобы вычислить нагрузку точнымъ образомъ, но треніе между клиньями свода лишаетъ формулы ихъ вѣрности.

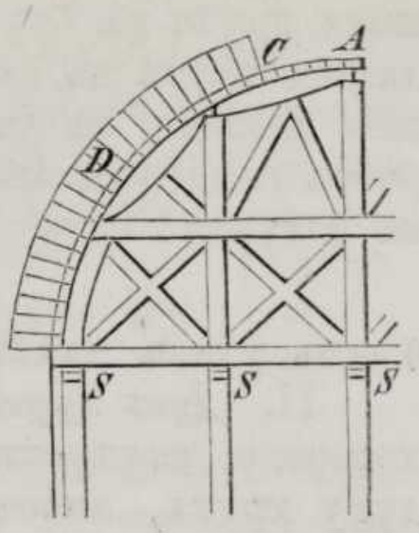
Замѣчено что клинья свода начинаютъ давить на кружала тогда, когда уголъ наклоненія ихъ постелей къ горизонту становится болѣе угла покоя, который заключается между 25° и 35° или среднимъ числомъ 30°; но для справедливости этого необходимо чтобы сводъ въ нижней части своей былъ такъ толстъ чтобъ не могъ опрокинуться внутрь. Толщина въ одну десятую долю радіуса кривизны внутренней поверхности вообще достаточна, но случайная неправильность клиньевъ можетъ произвести давленіе на кружала.

Каждый вновь укладываемней клинъ или рядъ камней уменьшаетъ давленіе производимое прежде положенными камнями на кружала; и когда полукруглый сводъ совсѣмъ конченъ, но еще не сомкнутъ ключемъ, то тѣ клинья, которыхъ постели имѣютъ наклоненіе меньше 30° вовсе не давятъ на кружала и это имѣло бы мѣсто даже и при совершенномъ отсутствіи тренія. Дѣйствительно когда давленіе на кружала достигаетъ наибольшей своей величины, тогда оно почти такое же при треніи какъ и безъ него; принимая въ расчетъ это обстоятелство и то, что пренебреженіе треніемъ производитъ ошибку въ пользу устойчивости строенія, можно на дѣлѣ вычислять грузъ такъ, какъ будто бы треніе между камнями не имѣло чувствительной величины.

Вотъ выводы къ какимъ можно прійти.

I) *Общій случай.* Пусть w означаетъ вѣсъ свода на единицѣ длины внутренней его поверхности, поддерживаемой однимъ ребромъ кружала.

За начало координатъ примемъ высшую точку свода A; (чер. 221) горизонтальную координату какой нибудь точки D назовемъ x, а отвѣсную y. Координаты точки C, гдѣ остановилась кладка свода пусть будутъ x_0 и y_0. Радіусъ кривизны внутренней поверхности свода у точки D назовемъ r, а уголъ ея наклоненія къ горизонту θ; p нормальное давленіе на ребро фермы въ точкѣ D на единицу длины поверхности свода. Пренебрегая треніемъ будемъ имѣть.



Чер. 221.

$$p = w\cos\theta - \frac{1}{r}\int_{y_0}^{y} w\,dy \quad \ldots\ldots (1.)$$

наибольшая величина этого давленія есть

$$w \cdot \cos\theta \ldots\ldots (1\text{ A.})$$

Пусть P означаетъ весь отвѣсный грузъ на кружалахъ, производимый давленіемъ свода между C и D

$$\mathrm{P} = \int_{x_1}^{x} p\,dx \ldots\ldots (2.)$$

Величина этаго, давленія когда ключъ свода еще не положенъ есть

$$\mathrm{P}_1 = \int_{0}^{x_1} p\,dx \ldots\ldots (2\text{ A})$$

потому что у ключа $y_0 = 0$; здѣсь x_1 есть абсиса точки для которой $p = 0$.

Если кружала опираются не на стойки какъ въ чертежѣ 221, а лежатъ на устояхъ свода какъ ферма или на собственныхъ деревянныхъ устояхъ, то:

Назовемъ c отверстіе фермы, M моментъ сгиба по срединѣ пролета

$$\mathrm{M} = \mathrm{P}\,c - \int_{x_0}^{x_1} p\,x\,dx \ldots\ldots (3.)$$

и наибольшая его величина для $y_0 = 0$ есть

$$\mathrm{M}_1 = \mathrm{P}_1\,c - \int_{0}^{x_1} p\,x\,dx \ldots\ldots (3\text{ A.})$$

Выраженіе (1 A.) служитъ для опредѣленія наибольшаго груза на брусья опалубки, по уравненію (2.) вычисляется грузъ на отвѣсныя стойки или отвѣсная составляющая давленія на каждую излучину или часть кружальнаго ребра поддерживающаго опалубку; весь поперечный грузъ на излучинѣ есть

$$\mathrm{P}\sec\theta' \ldots\ldots (4.)$$

θ есть уголъ наклоненія ея къ горизонту.

II. *Дуга круга круга не превышающая 120°.* Въ сводѣ, котораго внутренняя поверхность имѣетъ направляющею дугу круга, имѣемъ

$$x = r\sin\theta\ ;\ y = r(1 - \cos\theta\ );$$
$$x_0 = r\sin\theta_0;\ y_0 = r(1 - \cos\theta_0);$$
$$x_1 = r\sin\theta_1;\ y_1 = r(1 - \cos\theta_1);$$

Пусть s, s_0, s_1 длины дугъ измѣряемыя въ футахъ отъ точки A, и пусть вѣсъ свода на единицу длины внутренней поверхности остается постояннымъ, тогда нормальное давленіе на футъ внутренней поверхности будетъ

$$p = w(2\cos\theta - \cos\theta_0) = w\frac{r - 2y + y_0}{r}; \quad \ldots\ldots (5.)$$

наибольшая его величина въ каждой точкѣ есть

$$w\cos\theta = w\frac{r-y}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5\,\text{A.})$$

Отвѣсный грузъ между C и D

$$\left.\begin{aligned} P &= w r\left\{\theta - \theta_0 - \sin\theta(\cos\theta_0 - \cos\theta)\right\} \\ &= w\left\{s - s_0 - \frac{x}{r}(y - y_0)\right\} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (6)$$

А когда сводъ доведенъ до ключа, и точка D есть начало свода

$$P_1 = w r\left\{\theta_1 - \sin\theta_1(1 - \cos\theta_1)\right\} = w\left\{s_1 - \frac{x_1 y_1}{r}\right\} \quad (6\,\text{A.})$$

Послѣднее выраженіе даетъ отвѣсный грузъ въ функціи длины дуги, половины отверстія x, и подъема дуги y.

Наибольшій моментъ сгиба, M_1 на ребро кружала при полуотверстіи его c, есть

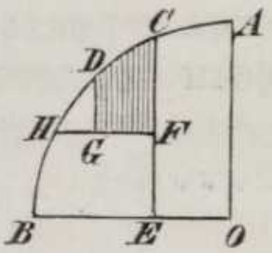
$$\left.\begin{aligned} M_1 &= P_1 c - w r^2\left(\frac{1}{6} + \frac{\cos^2\theta_1}{2} - \frac{2\cos^3\theta_1}{3}\right) \\ &= w\left\{c s_1 - \frac{c x_1 y_1}{r} - \frac{r^2}{6} - \frac{(r-y_1)^2}{2} + \frac{2(r-y_1)^3}{3}\right\}. \end{aligned}\right\} \quad (7.)$$

При употребленіи этихъ выраженій можемъ вычислять входящія въ нихъ величины радіуса r, и дуги s по слѣдующимъ формуламъ для всякой кривой съ полуотверстіемъ x и подъемомъ y.

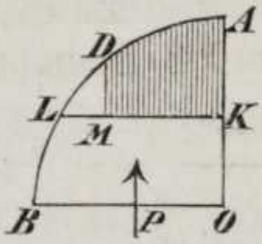
$$r = \left(y + \frac{x^2}{y}\right) : 2; \; s = x\left(1 + \frac{2y^2}{3x^2} - \frac{y^4}{8x^4}\right) \ldots\ldots (8.)$$

Графически давленіе на кружала выражается построеніемъ чертежа 222. AB есть четверть окружности описанной радіусомъ внутренней поверхности свода. C та точка до которой доведена кладка свода, а D какая нибудь точка.

Положимъ что радіусъ AO представляетъ $2\,w$ или удвоенный вѣсъ погоннаго фута свода. Проведите CE параллельно AO, и раздѣлите ее пополамъ въ точкѣ F; чрезъ точку F проведите прямую параллельно BO, она встрѣтитъ внутреннюю поверхность свода въ H, гдѣ уже не будетъ нормальнаго давленія на кружало. Нормальное давленіе на единицу въ точкѣ D представляется длиною линіи DG параллельною AO, а площадь $DGFC$ есть отвѣсная составляющая груза на кружало между C и D. Измѣривъ всѣ линіи и площади по маасштабу можемъ составить пропорціи



Чер. 222.



Чер. 223.

$$\tfrac{1}{2}\,\mathrm{A\,O} : w = \mathrm{D\,G} : p = \mathrm{D\,E\,G\,F} : \mathrm{P}.$$

Когда кладка свода кончена но онъ еще не сомкнутъ (чер. 223), раздѣлите радіусъ AO пополамъ, чрезъ точку K проведите прямую параллельную BO, L будетъ точка гдѣ уже нѣтъ давленія на кружало, дуга AL содержитъ 60^0, DM будетъ нормальное давленіе на единицу площади въ точкѣ D

$$\mathrm{A\,K} : w = \mathrm{D\,M} : p = \mathrm{A\,D\,M\,K} : \mathrm{P}.$$

Если D есть начало свода, то площадь $ADMK$ представляетъ весь грузъ лежащій на кружалахъ или P_1; когда кружала поддержаны стойками или устоями въ точкахъ P, то OP есть разстояніе означенное въ уравненіи (7.) буквою c.

III. *Дуга круга въ 120^0 и болѣе.* Такъ какъ клинья свода ниже той точки, въ которой наклоненіе поверхности есть 60^0, не давятъ на кружала когда грузъ полонъ, то величина P_1 для $\theta_1 = 60^0$ прилагается ко всѣмъ бо́льшимъ величинамъ θ_1; само собою разумѣется что во всякомъ случаѣ должно сдѣлать.

$$x_1 = \sqrt{\frac{3}{4}}\,r = 0.866\,r;\quad y_1 = \frac{r}{2};\quad s_1 = 1.0472\,r \ldots (9.)$$

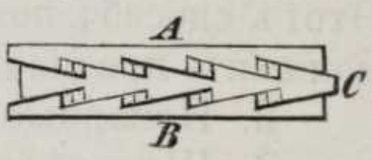
каковы бы ни были дѣйствительный подъемъ и отверстіе. При этомъ получаются слѣдующіе выводы

$$\mathrm{P}_1 = 0.6142\,w\,r \ldots\ldots (10.)$$

$$\mathrm{M}_1 = w\,r\left(0.6142\,c - \frac{5\,r}{24}\right) \ldots . (11.)$$

4. *Некруговая арка.* Найдите двѣ точки, въ которыхъ внутренняя поверхность свода имѣетъ наклонъ въ 60° къ горизонту: черезъ нихъ и вершину арки проведите дугу круга, и поступайте какъ въ 2^мъ Случаѣ, вычисляя r и s по формуламъ (8.), въ нихъ x и y будутъ означать координаты точекъ свода, гдѣ наклонъ его равенъ 60°. Выводы будутъ достаточно вѣрны для практическаго употребленія.

II. *Клинья* служатъ для спуска кружалъ, когда сводъ оконченъ. На чертежѣ 224 представленъ зубчатый клинъ C между зубчатыми брусьями A и B; брусъ B лежитъ на устоѣ или рядѣ стоекъ поддерживающихъ кружала; кружальныя же ребра опираются на брусъ A. Клинъ C удерживается на мѣстѣ во время постройки свода малыми клиньями заколоченными между зубьевъ; когда нужно спустить кружала, то малыя клинья выколачиваются изъ своихъ мѣстъ а большой клинъ C подвигается ударами молота, тогда A и B сближаются. На чертежѣ 221 въ S и S видны концы клина и зубчатыхъ брусьевъ. Иногда клинъ помѣщается вдоль кружала.



Чер. 224.

Въ кружалахъ употребляемыхъ Гартлеемъ каждая подушка палубы поддержана особымъ клиномъ или винтомъ.

Употребленіе песку для опусканія кружалъ придумано Бодемуленомъ, усовершенствовано Сазильи и приложено къ дѣлу Бузіа при постройкѣ Аустерлицкаго моста въ Парижѣ. На верхнемъ брусѣ устоя, поддерживающаго кружала, помѣщены отвѣсные цилиндры изъ листоваго желѣза высотою и діаметромъ около 1 фута, въ стѣнкахъ ихъ на $1\frac{1}{4}$ дюйма отъ дна есть четыре дыры діаметромъ въ $\frac{3}{4}$ дюйма, заткнутыя пробками. Цилиндры наполнены до двухъ третей или трехъ четвертей чистымъ, мелкимъ, сухимъ пескомъ. Въ нихъ входятъ свободно деревянные поршни, опирающіеся на песокъ; поршни эти суть собственно нижніе концы стоекъ, на которыхъ построены кружала; зазоръ между поршнями и стѣнками цилиндровъ наполненъ гипсовымъ растворомъ, предохраняющимъ песокъ отъ сырости. Когда нужно опустить кружала, то вынимаютъ пробки изъ отверстій нижней части цилиндровъ и песокъ высыпается постепенно, при чемъ кружала понижаются равномѣрно.

Песокъ должно отгребать по мѣрѣ того, какъ онъ высыпается.

III. *Кружальныя ребра* должны быть очень жестки и многоугольныя фермы или деревянныя арки не могутъ быть тутъ употребляемы по своей гибкости. Наиболѣе жесткія системы, оказывавшіяся годными для поддержанія кружальной палубы суть:

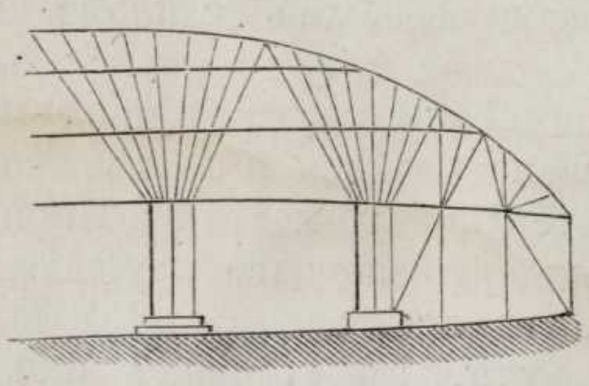
1. Прямыя подставки или стойки, поддерживающія концы излучинъ, которыхъ длина бываетъ отъ 10 до 15 футъ, иногда же ихъ дѣлаютъ длиною отъ 5 до 6 футъ. Этотъ способъ поддержанія кружальныхъ излучинъ стойками долженъ предпочитаться всѣмъ другимъ.

2. Попарные наклонные раскосы.

3. Шпренгельныя фермы.

I. Система стоекъ для поддержанія кружалъ очень проста и представлена на чертежѣ 221. Нѣсколько рядовъ свай поддерживаютъ нижніе зубчатые брусья *S* при спускныхъ клиньяхъ; на верхніе зубчатые брусья опирается кружальное ребро, которое состоитъ изъ горизонтальныхъ прогоновъ, стоекъ помѣщенныхъ надъ сваями, крестовинъ между стойками и прогонами и наконецъ наклонныхъ подкосовъ противъ серединъ излучинъ.

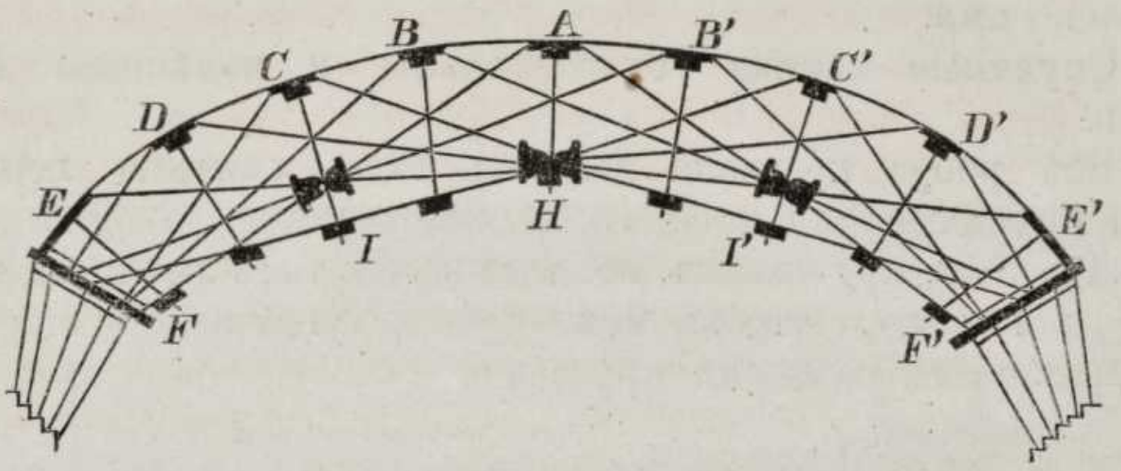
Чертежъ 225 есть очеркъ кружальнаго ребра употребленнаго Гартлеемъ при постройкѣ моста черезъ рѣку Ди въ Честерѣ. Излучины замѣнены были косяками изъ $4\frac{1}{2}$ дюймовыхъ досокъ въ дваряда, въ мѣстахъ стыка досокъ приходились раскосы, которые шли въ видѣ веера отъ временныхъ каменныхъ устоевъ; раскосы эти были перекрещены горизонтальными прогонами воздвышавшимися на 10 или 12 футъ одинъ надъ другимъ. Разстояніе между устоями было въ 40 футъ.



Чер. 225.

2. Попарные наклонные раскосы представлены на чертежѣ 226 въ томъ видѣ, въ какомъ они были употреблены въ кружалахъ Ватерлоскаго моста. Каждый стыкъ излучинъ *A*, *B*, *C* поддержанъ двумя раскосами упирающимися въ наклонные спускные клинья *F* и *F'*; гдѣ нѣсколько раскосовъ пересѣкаются какъ на примѣръ въ *H*, *I* и *I'*

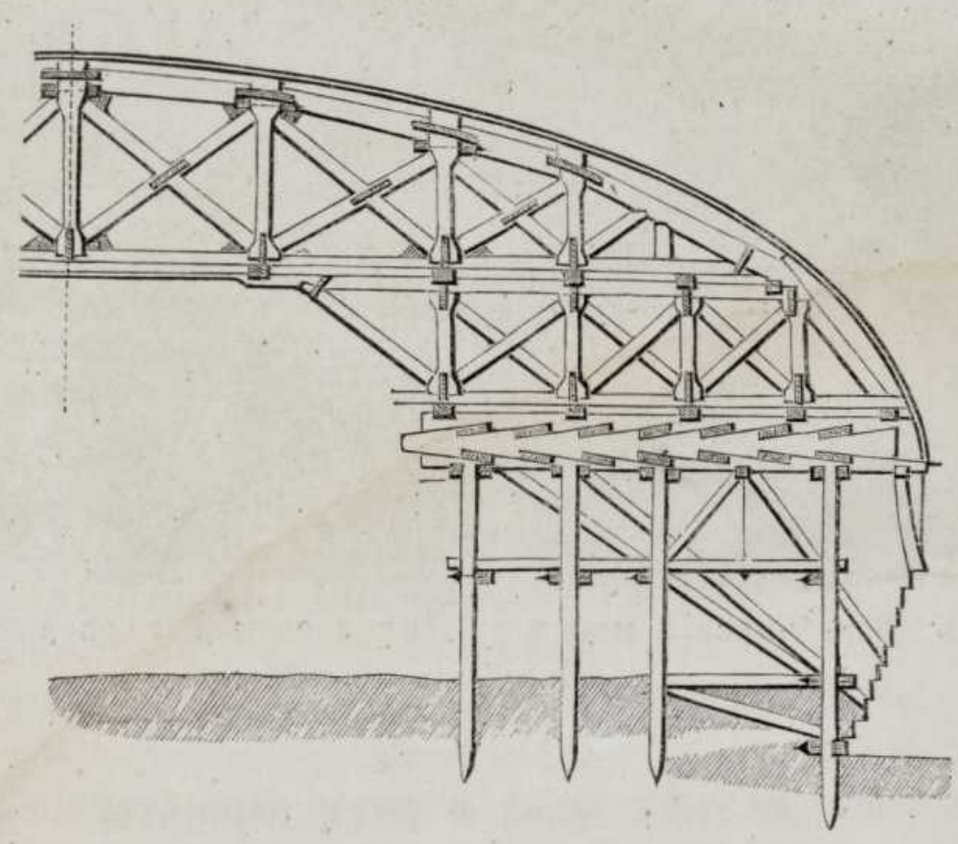
тамъ положены чугунные башмаки; въ другихъ же пересѣченіяхъ раскосы врублены въ полдерева и связаны бол-



Чер. 226.

гами. Фермѣ придали жесткость посредствомъ висячихъ схватокъ въ нормальномъ направленіи. Спускные клинья были помѣщены вдоль кружальнаго ребра и нижніе ихъ брусья лежали на подкосахъ, упиравшихся въ ступеньчатые фундаменты устоевъ.

3. Шпренгельная система въ приложеніи къ кружаламъ представлена на чертежѣ 227, изображающемъ кру-



Чер. 227.

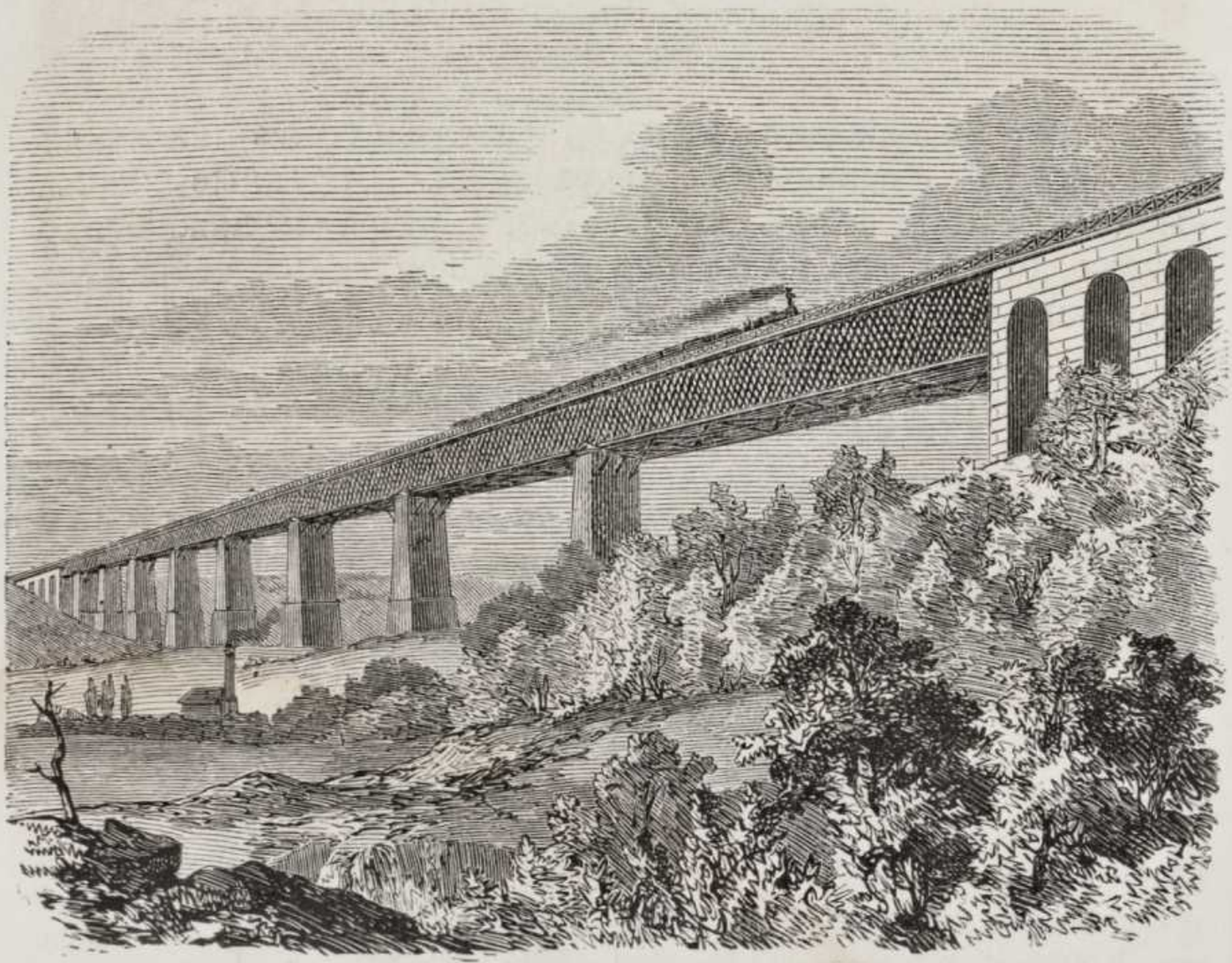
жала Лондонскаго моста; только средняя половина кружала имѣетъ форму стянутой дуги, которой подъемъ равенъ четверти пролета; крестовины даютъ ей очень большую

жесткость. У краевъ же почти на одной четверти пролета съ каждой стороны сводъ поддержанъ прямыми стойками съ раскосами.

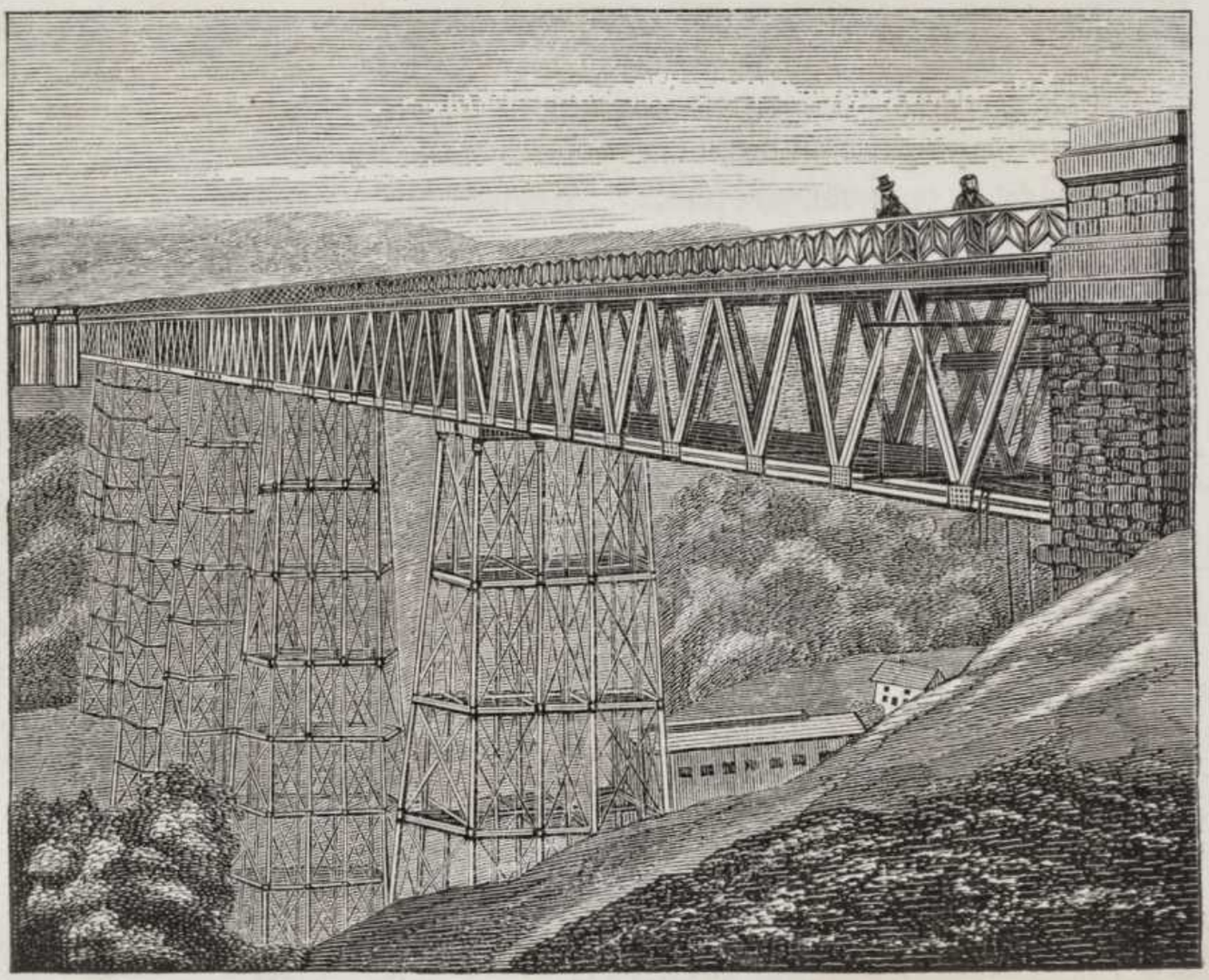
Спускные клинья горизонтальны и помѣщены вдоль ребръ.

Всѣ ребра кружала должны быть связаны поперечными брусьями для того чтобы они составляли одно цѣлое.

Лѣсъ въ кружалахъ не должно портить лишними врубками для того, чтобы можно было употребить его пять въ дѣло послѣ разборки кружалъ.



Чер. 250. Веребьинскій мостъ на Николаевской желѣзной дорогѣ.



Чер. 228. Крумлинскій путепроводъ

ГЛАВА V.

МЕТАЛИЧЕСКІЯ СТРОЕНІЯ.

Отдѣлъ I. Чугунъ, желѣзо и сталь.

350. Желѣзныя руды и роды желѣза. Въ этомъ сочиненіи даны будутъ только самыя общія понятія объ желѣзныхъ рудахъ и добываніи желѣза.

Химическій пай желѣза въ 28 разъ болѣе пая водорода. Вотъ главнѣйшіе виды въ которыхъ желѣзо встрѣчается въ рудахъ.

	Паи	Вѣсъ		Проценты желѣза.
I. *Самородное желѣзо* почти чистое или въ соединеніи съ никелемъ, котораго бываетъ отъ одной сотой до одной четверти по вѣсу. Оно очень рѣдко и встрѣчается отдѣльными массами, объ которыхъ извѣстно или предполагается что онѣ упали изъ атмосфера				80 — 100
II. *Закись* или *черная окись желѣза* встрѣчается только въ соединеніи съ другими веществами Желѣза	1	28	36	77.8
Кислорода	1	8		
III. *Перекись* или *красная окись желѣза* Желѣза	2	56	80	70
Кислорода	3	24		
IV. *Магнитная окись желѣза* или соединеніе закиси съ перекисью Желѣза	3	84	116	72.4
Кислорода	4	32		
V. *Водная окись желѣза*				
Окиси желѣза 2 пая Желѣза .	4	112	187	60
Кислорода	6	72		
Воды 3 пая Кислорода	3			
Водорода	3	3		
VI. *Углекислое желѣзо.*				
Закиси желѣза 1 пай Желѣза .	1	28	58	48.3
Кислорода	1	24		
Углекислоты 1 пай Кислорода	2			
Углерода	1	6		

Желѣзо въ соединеніи съ сѣрою образуетъ *сѣрные колчеданы*, изъ которыхъ нельзя добывать желѣза, потому что сѣра дѣлаетъ его хрупкимъ; присутствіе сѣры въ топливѣ, употребляемомъ при добываніи желѣза, тоже для него вредно. Фосфоръ тоже имѣетъ дурное вліяніе на желѣзо.

Постороннія вещества попадающіяся въ значительномъ количествѣ въ желѣзныхъ рудахъ суть: кремнистые пески и кремнекеслый глиноземъ или глина; потомъ углекислая

известь и магнезія. Между посторонними веществами въ желѣзныхъ рудахъ, встрѣчающимися хотя въ маломъ количествѣ, но имѣющими вліяніе на качества желѣза можно указать на углеродъ, марганецъ, мышьякъ, титанъ и др. Изъ нихъ только углеродъ и марганецъ составляютъ полезныя примѣси, потому что марганецъ увеличиваетъ крѣпкость стали, а углеродъ облегчаетъ плавку руды; другія же примѣси вредны.

Самыя обыкновенныя желѣзныя руды суть.

I. *Магнитный желѣзнякъ* состоящій изъ совершенно или почти чистой магнитной окиси желѣза, и содержащій 72 процента метала, встрѣчается жилами, прорѣзывающими первичныя, а также плутоническія породы. Изъ него получается самое лучшее желѣзо.

II. *Красная желѣзная руда* есть окись желѣза, иногда съ примѣсями. Чистая и окристалованная она называется *желѣзнымъ блескомъ;* чистая или почти чистая но въ видѣ желваковъ и жилковатаго сложенія называется *кровавикомъ* или *краснымъ* Гемамитомъ; въ смѣси съ большимъ или меньшимъ количествомъ песку и глины она называется *красной охрой.* Руду эту находятъ въ разныхъ геологическихъ формаціяхъ и тѣмъ чистѣйшею, чѣмъ формація древнѣе; она даетъ превосходное желѣзо.

III. *Бурый желѣзнякъ* есть водная окись желѣза чистая или смѣшанная. Плотный и почти чистый называется иногда *бурымъ Гемамитомъ,* землистый и въ смѣси съ глиною называется онъ *желтою охрою.* Онъ встрѣчается въ разныхъ пластахъ преимущественно новаго образованія.

IV. *Углекислое желѣзо* въ чистомъ и кристалическомъ видѣ называется *желѣзнымъ шпатомъ;* смѣшанное съ глиной и пескомъ *глинистымъ желѣзнымъ камнемъ;* окрашенное въ черный цвѣтъ отъ углерода *чернымъ желѣзнымъ камнемъ.* Руды эти встрѣгаются между первичными и вторичными осадочными пластами, особенно же въ каменноугольной формаціи.

Количество землистыхъ веществъ въ рудахъ содержащихъ углекислое желѣзо бываетъ отъ 10 до 40 на сто.

Добываніе желѣза изъ рудъ состоитъ въ общемъ видѣ изъ слѣдующихъ дѣйствій: если желѣзо соединено съ углеродомъ, то углекислота выдѣляется посредствомъ накаливанія, послѣ чего остается окись желѣза; землистыя примѣси въ рудѣ выдѣляются химическимъ ихъ сродствомъ

съ другими землями, преимущественно известью, и образуютъ стекловатое вещество называемое *шлакомъ;* кислородъ отдѣляется отъ желѣза химическимъ его сродствомъ съ углеродомъ; при нѣкоторыхъ производствахъ углеродъ, находящійся въ соединеніи съ желѣзомъ, выдѣляется кислородомъ. Есть также средства для соединенія желѣза съ нѣкоторымъ количествомъ углерода. При добываніи желѣза употребляются слѣдующія вещества: *желѣзная руда; топливо*, дающее тепло при сгараніи и доставляющее углеродъ; *воздухъ* который даетъ кислородъ для сожиганія топлива; *плавни*, обыкновенно известь, способствующіе плавленію руды и соединяющіеся съ землистыми ея частями.

Иногда примѣшиваютъ къ рудѣ такія вещества, которыя служатъ для выдѣленія сѣры или фосфора изъ руды или топлива: по способу Калверта какое нибудь хлористое соединеніе, обыкновенно поваренная соль, употребляется въ такомъ количествѣ, чтобы на каждый 16 частей сѣры или 32 части фосфору въ рудѣ или топливѣ приходилось 35 частей хлору, а какъ обыкновенная соль содержитъ 23 части натра на 35 частей хлора, то нужно 58 частей соли.

Желѣзо получается въ трехъ видахъ: *желѣзо* чистое или почти чистое, *чугунъ и сталь* которые суть соединенія желѣза съ углеродомъ. Нѣкоторые полагаютъ, что одна изъ существенныхъ частей стали есть азотъ, но это требуетъ подтвержденія.

351. Примѣси въ желѣзѣ. Крѣпкость и другія хорошія качества желѣза во всѣхъ его видахъ зависятъ отъ его чистоты или отсутствія въ немъ примѣсей, причиняющихъ слабость или хрупкость, каковы сѣра, фосфоръ, кремній, кальцій и магній.

Сѣра и кальцій а также вѣроятно и магній дѣлаютъ желѣзо *красналомкимъ* т. е. хрупкимъ въ раскаленномъ состояніи; а фосфоръ и кремній *холодналомкомъ* или хрупкимъ въ холодномъ состояніи: оба недостатка очень вредны, но послѣдній болѣе.

Сѣра большею частью доставляется желѣзу отъ каменнаго угля или кокса, употребляемаго при плавленіи руды. Совершенно избѣжать ея присутствія въ желѣзѣ можно только употребленіемъ топлива въ которомъ нѣтъ сѣры; и лучшіе сорты желѣза тѣ, которыя обработаны на древесномъ углѣ или на ископаемомъ, не содержащемъ сѣры.

Объ выдѣленіи сѣры говорилось въ предшествующемъ параграфѣ.

Фосфоръ доставляется во многихъ случаяхъ фосфорно кислымъ желѣзомъ или фосфорно кислою известью, заключающимися въ рудѣ, въ топливѣ или въ плавняхъ. Способъ Кольверта для очищенія отъ него желѣза изложенъ былъ выше. Руды содержащія много фосфору встрѣчаются въ пластахъ, наполненныхъ остатками животныхъ, какова напримѣръ оолитовая формація.

Кальцій и кремній произходятъ отъ разложенія извести или кремнезема химическимъ сродствомъ углерода съ ихъ кислородомъ. Совершенно чистое отъ этой примѣси желѣзо получается изъ рудъ не содержащихъ ни извести, ни кремлезема, каковы магнитный желѣзнякъ, желѣзный шпатъ и чистый гематитъ.

Если одна изъ этихъ земель присутствуетъ въ рудѣ, то другая должна быть придана въ видѣ плавня для образованія съ нею шлака; нѣкоторая часть земель разкислится, а основанія ихъ соединятся съ желѣзомъ. Это такой недостатокъ противъ котораго не найдено еще средствъ.

То что сказано объ кальціѣ прилагается также и къ *магнію*. Дѣйствіе *аллюминія* на желѣзо еще мало извѣстно.

352. Чугунъ получается проплавною желѣзныхъ рудъ. Разбитая въ куски руда, въ смѣси съ топливомъ и плавнями подвергается дѣйствію сильнаго жара воздуходувной печи; продукты этого плавленія суть: *шлакъ*, стекловатое вещество произшедшее отъ соединенія плавней съ землистыми составными частями руды, и *чугунъ* химическое соединеніе желѣза съ углеродомъ, иногда чистое, иногда содержащее нѣсколько углерода въ видѣ примѣси.

Руду иногда передъ плавленіемъ прокаливаютъ для того, чтобы отдѣлить углекислоту и воду.

Пропорція руды, топлива и плавней опредѣляется опытомъ; и успѣхъ плавленія зависитъ много отъ этой пропорціи.

Плавнями служатъ обыкновенно известняки, изъ которыхъ углекислота выдѣляется при накаливаніи, а известь соединяется съ кремнеземомъ или глиноземомъ руды. Когда въ рудѣ находится углекислая известь, то для плавленія ея нужно менѣе извести. Если известь или кремнеземъ находятся въ избыткѣ, то часть лишней земли образуетъ съ окисью желѣза стекловатое вещество, которое всплываетъ

на верхъ вмѣстѣ со шлакомъ и при этомъ часть желѣза теряется безъ всякой пользы; другая часть этой земли разлагается и основаніе ея соединяется съ металомъ, который отъ этого становится хрупкимъ, какъ было сказано въ предъидущемъ параграфѣ.

И такъ для полученія изъ руды наибольшаго количества чугуна и наилучшаго качества, нужно чтобы землистыя вещества, входящія въ нагрузку печи, были въ нѣкоторой пропорціи, опредѣляемой тщательными опытами.

Общее количество углерода въ чугунѣ бываетъ отъ 2 до 5 процентовъ.

При одной и тойже рудѣ можно получить разные виды чугуна, что зависитъ отъ температуры печи и количества топлива. При очень высокой степени жара и большомъ количествѣ топлива получается *сѣрый чугунъ*, котораго сорты означаются N. 1, N. 2, N. 3 и т. д. N. 1 соотвѣтствуетъ наивысшей температурѣ. При низкой степени жара и маломъ количествѣ топлива получается *бѣлый чугунъ*. Цвѣтъ сѣраго чугуна есть голубовато сѣрый разныхъ оттѣнковъ, сложеніе его зернистое, онъ мягче и легче плавится нежели бѣлый чугунъ; цвѣтъ бѣлаго чугуна серебристо-бѣлый, сложенія бываетъ кристалическаго и зернистаго, онъ сравнительно тяжеле плавится, хрупокъ и очень твердъ.

Кажется что разница между этими видами чугуна зависитъ не сколько отъ общаго количества углерода, заключающагося въ чугунѣ, сколько отъ отношенія количества углерода, примѣшаннаго къ чугуну, къ тому его количеству, которое химически соединено съ металомъ. Такъ сѣрый чугунъ содержитъ одинъ процентъ углерода въ химическомъ соединеніи съ желѣзомъ и отъ однаго до трехъ и даже четырехъ процентовъ углерода въ видѣ примѣси; бѣлый же чугунъ есть однородное химическое соединеніе желѣза съ двумя или четырьмя процентами углерода. Изъ разныхъ сортовъ сѣраго чугуна N. 1 содержитъ наибольшую примѣсь углерода.

Есть два сорта бѣлаго чугуна: *кристалическій и зернистый*. Зернистый бѣлый чугунъ можетъ быть обращаемъ въ сѣрый посредствомъ плавленія и медленнаго охлажденія и обратно сѣрый чугунъ можно обратить въ бѣлый зернистый плавленіемъ его и быстрымъ охлажденіемъ, которое совершается очень скоро въ лучшемъ чугунѣ. Кристали-

ческій бѣлый чугунъ тверже и хрупче зернистаго и не можетъ быть превращенъ въ сѣрый чугунъ: полагаютъ что онъ содержитъ болѣе углерода нежели зернистый; настоящая разность въ химическомъ сложеніи этихъ двухъ видовъ чугуна еще не извѣстна.

Сѣрый чугунъ N. 1 легко плавится и отливается очень чисто; но онъ имѣетъ мало твердости и крѣпкости и въ этомъ отношеніи уступаетъ N. 2 и N. 3, которые должны быть предпочитаемы для большихъ строеній.

353. Крѣпкость чугуна. Нѣкоторое понятіе объ сравнительной крѣпкости разныхъ сортовъ чугуна дано было выше: можно принять за общее правило что присутствіе примѣси въ чугунѣ дѣлаетъ его слабымъ и гибкимъ; по степени крѣпкости разные сорты чугуна изъ одной и той-же руды и при одинакомъ топливѣ могутъ быть расположены въ такомъ порядкѣ.

Зернистый бѣлый чугунъ, сѣрый чугунъ N. 3, сѣрый чугунъ N. 2, сѣрый чугунъ N. 1.

Кристалическій бѣлый чугунъ потому тутъ не поименованъ, что по хрупкости своей не годенъ для строеній.

Зернистый бѣлый чугунъ, хотя тверже и крѣпче сѣраго, однакожъ не годится по хрупкости для большихъ частей строеній; но онъ хорошъ какъ твердая и непропицаемая кора на штукѣ сѣраго чугуна, которая для этаго подвергается *закаливанію* (chilling). Это дѣлается тѣмъ, что въ тѣхъ частяхъ формы, гдѣ долженъ образоваться бѣлый чугунъ кладутъ куски желѣза. Расплавленный чугунъ, налитый въ форму, въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ касается желѣза, мгновенно стынетъ и твердѣетъ; и на нѣкоторую глубину отъ поверхности, между $^1/_8$ и $^1/_2$ дюймомъ, смотря по сорту, обращается въ бѣлый зернистый чугунъ, на остальной же толщинѣ получается сѣрый чугунъ.

Даже въ такихъ чугунныхъ штукахъ, для закаливанія которыхъ не было употребляемо желѣзо, на поверхности образуется кора тверже внутренняго вещества, потому что поверхность остываетъ скорѣе внутренности.

Лучшіе сорты чугуна для строеній суть N. 2 и N. 3 потому что имѣя больше крѣпкости и жесткости нежели N. 1, они мягче и гибче нежели бѣлый чугунъ; въ нихъ соединяются крѣпкость и гибкость въ такой степени, что они благонадежно могутъ выдерживать подвижные грузы.

Что касается до сравнительной крѣпкости чугуна расплавленнаго при дутьѣ горячимъ или холоднымъ воздухомъ, то изъ опытовъ Ферберна и Годжкинсона кажется, что изъ одной и тойже руды и при одинакомъ топливѣ чугунъ N. 1 при холодномъ воздухѣ лучше N. 1 при тепломъ воздухѣ; чугунъ N. 3 при дутьѣ горячимъ воздухомъ выходитъ лучше нежели при дутьѣ холоднымъ; вообще среднее качество чугуна не зависитъ отъ температуры вдуваемаго въ печь воздуха.

Особенно крѣпкій сортъ чугуна, который можно назвать *плотнымъ* (toughened) приготовляется по способу, изобрѣтенному Г. Моррисомъ Стирлингомъ; къ чугуну прибавляютъ и плавятъ вмѣстѣ съ нимъ отъ одной седьмой до одной четверти по вѣсу кусковъ желѣза.

Объ томъ на сколько крѣпкость чугунъ зависитъ отъ его чистоты говорено было въ § 351.

Многіе Инженеры предлагаютъ смѣшивать разные сорты чугуна для отливки частей строеній. Такъ Г. Фербернъ предлагаетъ слѣдующую смѣсь

Лоумуръ N. 3	30
Блейна или Иоркширъ N. 2	25
Шропширъ или Дербиширъ N. 3 . .	25
Хорошаго стараго желѣза въ кускахъ	20
	100

Но какъ этотъ, такъ и другіе Инженеры согласны въ томъ, что не должно давать заводчику никакого рецепта или назначать пропорціи въ которыхъ смѣшать разные сорты чугуна, а указать наименьшую степень крѣпкости, которую долженъ оказать чугунъ при пробѣ.

Сопротивленіе чугуна поперечному излому увеличивается, какъ нашелъ это Г. Фербернъ, повторенными проплавками его до двѣнадцати разъ; отношеніе крѣпкости чугуна послѣ двѣнадцатаго плавленія къ крѣпкости послѣ перваго плавленія близко къ отношенію чиселъ 7 и 5; дальнѣйшія плавленія ослабляютъ чугунъ.

Сопротивленіе раздавливанію увеличивается послѣ каждаго плавленія и доходитъ послѣ восемнадцати плавленій до величины вдвое большей противъ той, какая была въ началѣ; чугунъ при этомъ становится серебристо бѣлымъ и особенно твердымъ.

Г. Фербернъ нашелъ что поперечная крѣпкость чугуна

N. 3 не уменьшается при возвышеніи его температуры до 252° Р., почти до температуры плавленія свинца; при температурѣ краснаго калѣнія крѣпкость уменьшается до двухъ третей.

Сопротивленіе чугуна представляетъ двѣ замѣчательныя особенности: малую величину вязкости сравнительно съ твердостью или сопротивленіемъ раздробленію, и разныя величины коефицента перелома въ брускахъ различныхъ формъ при прямомъ разрывѣ и при поперечномъ сгибаніи. Объ этихъ особенностяхъ было уже говорено въ §§ 157, 164 и 166. Измѣненія коефицентовъ перелома въ балкахъ разныхъ формъ происходитъ вѣроятно отъ большей вязкости коры въ сравненіи съ вязкостью чугуна внутри; потому что опытъ надъ прямымъ разрывомъ бруска даетъ наименьшую вязкость внутренняго вещества; тогда какъ изъ опытовъ подъ сгибаніемъ получается вязкость коры и слоевъ вещества близь коры или далѣе отъ нея смотря по формѣ поперечнаго сѣченія.

При сильномъ морозѣ чугунъ становиться хрупкимъ; а при быстрыхъ перемѣнахъ температуры онъ иногда лопается.

Безопасная нагрузка чугуна бываетъ около одной трети *разрушающаго груза*, какъ было сказано въ § 142; обыкновенно употребляемый *коефицентъ благонадежности* для дѣйствующаго груза въ чугунныхъ сооруженіяхъ есть *шесть*.

Въ дополненіе къ таблицѣ крѣпкости матеріаловъ помѣщенной въ концѣ первой главы этой части, здѣсь прилагается выводы опытовъ надъ крѣпкостью чугуна произведенныхъ Ферберномъ и Годжкинсономъ. Всѣ коефиценты выражены въ пудахъ на квадратный дюймъ.

Цифры этой таблицы, находящіяся въ одной строкѣ, не относятся къ одному и тому же образцу, и суть крайніе выводы изъ опытовъ надъ сортомъ чугуна названнымъ въ первомъ столбцѣ.

Коефицентъ перелома чугуна при скручиваніи дается обыкновенно для невѣрной формулы (§ 312. V). Для вѣрной же формулы онъ есть среднимъ числомъ изъ многихъ опытовъ 767 пудовъ на квадратный дюймъ. Если эту цифру означимъ f' то моменты скручиванія будутъ

для круглыхъ брусьевъ діаметромъ h дюйм. $0.196\, f' h^3$.

для квадратныхъ брусьевъ толщиною h дюйм. $0.281\, f' h^3$.

Сорты чугуна.		Прямая вязкоть.	Раздробляющій грузъ.	Коефицентъ перелома квадр. брусковъ.	Коефицентъ упругости.
N. 1. Холоднаго дутья	отъ	351.51	1563.28	1016 06	387672
	до	483.65	2230.80	1101.29	425884
N. 1. Горячаго дутья	отъ	371.99	1999.09	827.65	319524
	до	446.50	2457.32	977.93	429484
N. 2. Холоднаго дутья	отъ	369.61	1897.71	926.34	348516
	до	522.11	2835.76	1096.80	471741
N. 2. Горячаго дутья	отъ	373.95	2290.99	800.74	339461
	до	493.09	2825.29	1063.16	451388
N. 3. Холоднаго дутья	отъ	393.21	2129.43	993.57	395452
	до	429.43	3195.52	1303.16	634346
N. 3. Горячаго дутья	отъ	423 06	2819.81	986.89	438954
	до	649.85	2904.27	1194.46	629417
N. 4. Плавленный коксомъ безъ сѣры		—	—	1155.12	
Плотный чугунъ	отъ	649.65	3596.37	—	
	до	713.43	3317.86	—	
N. 3. Горячаго дутья послѣ первой проплавки			2729.20	1099.04	
„ двѣнадцатой „			4534.20	1552.35	
„ восемьнадцатой „			5458.41	701.96	

354. Чугунныя части строеній. Объ крѣпкости и качествахъ чугуна годнаго для строеній говорено было выше.

Что касается до наружнаго вида, то онъ долженъ представлять гладкую, чистую и непрерывную кору съ правильными гранями и острыми ребрами. Въ изломѣ онъ долженъ быть мелко зернистъ и голубовато-сѣраго цвѣта съ значительнымъ металическимъ блескомъ; какъ цвѣтъ такъ и сложеніе должны быть однообразны во всей массѣ, только у наружной поверхности цвѣтъ можетъ быть свѣтлѣе а въ изломѣ зерна мельче; когда въ изломѣ окажутся пятна свѣтлаго или темнаго цвѣта или кристаллическаго сложенія, то чугунъ не надеженъ; еще менѣе надеженъ онъ, когда въ немъ есть пустоты.

Чугунъ долженъ быть на столько мягокъ, чтобы сохранять впечатлѣнія отъ удара молотомъ по ребрамъ отлитой штуки. Присутствіе пустотъ узнается по звуку при ударахъ молотомъ по поверхности.

Чугунъ, подобно многимъ другимъ веществамъ, при температурѣ плавленія или около нея, занимаетъ въ твердомъ состояніи большій объемъ, нежели въ жидкомъ состояніи при томже вѣсѣ. Въ слѣдствіе этого чугунъ при отвер-

дѣніи наполняетъ сплошь всю форму и получаетъ правильную и чистую поверхность.

Отвердѣвшій чугунъ при остываніи отъ температуры плавленія до температуры атмосфернаго воздуха уменьшается въ каждомъ измѣреніи на одну девяностошестую его долю или по одной восьмой дюйма на каждый футъ; поэтому форма должна быть на столько же болѣе противъ отливаемой штуки во всѣхъ измѣреніяхъ.

При составленіи чертежа чугунному издѣлію должно избѣгать всѣхъ внезапныхъ перемѣнъ въ толщинѣ, потому что тонкія части остывая твердѣютъ, и сжимаются скорѣе толстыхъ и отъ того могутъ случаться трещины въ переходахъ отъ тонкихъ частей къ толстымъ.

Чугунъ бываетъ плотнѣе и крѣпче когда отлитъ подъ значительнымъ давленіемъ: по этому пушки, колоны, трубы и т. д. бываютъ лучше когда отлиты въ отвѣсномъ а не въ горизонтальномъ положеніи и еще лучше когда имѣютъ голову или придаточную массу чугуна, которой вѣсъ давитъ на находящійся подъ нею чугунъ. Всѣ воздушные пузырки поднимаются въ верхъ и собираются въ головѣ, которую по охлажденіи штуки отбиваютъ.

При обдѣлкѣ чугуннаго издѣлія неслѣдуетъ снимать съ него коры особенно въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ дѣйствуютъ сильныя напряженія.

Чугунъ измѣняется въ длинѣ на 1 — 900 или 0.00111 при измѣненіи температуры отъ замерзанія воды до ея кипѣнія или на 0.00001388 для каждаго градуса термометра Реомюра: въ нашихъ странахъ гдѣ измѣненія температуры могутъ быть отъ — 20° до + 30° измѣненія въ размѣрахъ чугуна могутъ быть до 0.0007. Всякое строеніе, содержащее чугунныя части должно быть такъ расположено, чтобы такое измѣненіе въ размѣрахъ частей не было ему вредно.

355. Желѣзо бываетъ рѣдко въ совершенно чистомъ видѣ: обыкновенно въ немъ встрѣчаются примѣси, уменьшающія его крѣпкость въ большей или меньшей степени. Обыкновенно встрѣчающіяся а также вредныя примѣси указаны были въ § 351; тамъ же разсмотрѣно и вліяніе ихъ на желѣзо.

Желѣзо можно получить прямо проплавкою изъ руды, или отдѣленіемъ углерода и другихъ примѣсей отъ чугуна. Способъ прямой проплавки хорошъ только для богатыхъ и

чистыхъ рудъ; при немъ образуется шлакъ, который содержитъ большое количество окиси желѣза и даетъ потомъ чугунъ при новой плавкѣ. Самый выгодный и наиболѣе употребительный способъ добыванія желѣза состоитъ въ очищенія чугуна отъ постороннихъ веществъ; для этого берутъ бѣлый чугунъ частью потому что общее количество углерода въ немъ меньше нежели въ сѣромъ чугунѣ, частью же и потому что онъ негодится на чугунныя издѣлія.

Способы добыванія желѣза въ подробностяхъ весьма различны; но всѣ сводятся на то, чтобы привести расплавленный чугунъ въ прикосновеніе съ достаточнымъ количествомъ воздуха для окисленія всего находящагося въ чугунѣ углерода и кремнія. Углеродъ отдѣляется въ видѣ углекислоты или окиси углерода; кремнеземъ произшедшій при отдѣленіи кремнія соединяется частью въ закисью желѣза, частью же съ известью, прибавляемою иногда въ видѣ плавня и образуетъ тогда шлакъ. Хлористый натръ (поваренная соль) употребляется для выдѣленія сѣры и фосфора. Въ одномъ изъ способовъ добыванія желѣза отдѣленіе углерода производится струями пара направляемыми въ расплавленную массу чугуна; кислородъ пара способствуетъ окисленію углерода и кремнія, а водородъ его соединяется съ сѣрою и фосфоромъ.

Но самый вѣрный способъ добыванія чистаго желѣза есть употребленіе рудъ и топлива не содержащихъ ни сѣры, ни фосфора.

Наиболѣе употребительный способъ приготовленія желѣза есть *пудлингованіе,* при которомъ чугунъ плавится въ отражательной печи и приводится въ прикосновеніе съ воздухомъ возобновленіемъ его поверхности посредствомъ кочерги. Нѣкоторые желѣзнозаводчики передъ пудлингованіемъ желѣза подвергаютъ его отбѣливанію т. е. вдуваютъ струю воздуха на поверхность расплавленнаго чугуна: тогда отдѣляется часть углерода и остается бѣлое кристалическое соединеніе желѣза съ углеродомъ называемое отбѣленнымъ металомъ. Объ отдѣленіи углерода судятъ по сгущенію разплавленной моссы, потому что желѣзо для расплавленія требуетъ высшей температуры нежели чугунъ. Изъ него составляютъ крицы или болванки, которыя кладутся подъ молотъ для выжатія шлака и сварки.

Затѣмъ болванки пропускаются въ прокатные станки для обдѣлки въ бруски; бруски рѣжутъ на куски, складываютъ

въ пакеты, раскаливаютъ и снова пропускаютъ сквозь прокатный станокъ и это повторяется до тѣхъ поръ пока желѣзо будетъ довольно плотно и получитъ волокнистое сложеніе.

По способу Бессемера сквозь расплавленный чугунъ пропускаются струи воздуха, вдуваемаго машиною: кислородъ его соединяется съ углеродомъ и кремніемъ, при этомъ процессѣ отдѣляется количество теплорода, достаточное для поддержанія чугуна въ расплавленномъ состояніи до обращенія его въ желѣзо, изъ котораго дѣлаютъ пакеты, проковываемыя молотомъ какъ обыкновенно. Этотъ способъ добыванія желѣза оказался очень удобенъ для рудъ не содержащихъ сѣры и фосфора, каковы Шведскія и Новошотландскія руды.

Крѣпкость и плотность брусковаго желѣза узнаются по тонкому, плотному и однородному волокнистому сложенію, безъ всякаго слѣда кристализаціи, и по голубовато сѣрому цвѣту и шелковистому блеску въ плоскости разрыва, гдѣ видны волокна.

Листовое желѣзо лучшаго качества состоитъ изъ попеременныхъ слоевъ волоконъ взаимно перекрещивающихся и должно имѣть одинакую вязкость во всѣхъ направленіяхъ.

Желѣзо имѣетъ замѣчательное свойство *свариваться*: если два куска желѣза разкалить до бѣла, приложить плотно одинъ къ другому и подвергнуть дѣйствію сильнаго сжиманія или ударамъ молота, то онѣ составятъ одинъ кусокъ. При всѣхъ обдѣлкахъ желѣза прокатными ли станками или ковкою, гдѣ употребляется свариваніе, поверхности свариваемыхъ кусковъ должны быть чисты отъ ржавчины (окиси желѣза), шлаку и всякихъ постороннихъ веществъ и должны плотно касаться другъ друга.

Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ нѣсколько брусковъ желѣза должны быть скованы или сжаты въ одинъ, надобно обращать вниманіе на то, чтобы ихъ сложить правильно для равномѣрной передачи давленія станка или молота всей обработываемой массѣ. Если это упущено изъ виду, то на обдѣланномъ желѣзѣ видны будутъ прожилки или плены въ мѣстахъ соединенія полосъ, какъ это бываетъ иногда замѣтно на рельсахъ.

Желѣзо повторенными нѣсколько разъ нагрѣваніями и ковкою, или вообще обработкою, улучшается т. е. становится плотнѣе и крѣпче; по отытамъ Клея послѣ пяти сва-

рокъ вязкость желѣза увеличивается на 40 процентовъ, дальнѣйшія нагрѣванія и проковка ослабляютъ его. Вообще хорошое полосовое желѣзо достигло уже высшей степени крѣпкости, и потому при обработкѣ его паровымъ или ручнымъ молотомъ надобно стараться дать ему требуемые размѣры и форму съ наименьшимъ числомъ нагрѣваній.

До сихъ поръ еще остается не рѣшеннымъ вопросъ о томъ, въ какой степени и при какихъ обстоятельствахъ желѣзо теряетъ свое волокнистое сложеніе, получаетъ сложеніе кристаллическое и становится хрупкимъ. Нѣкоторые полагаютъ что всякіе удары и сотрясенія имѣютъ это своимъ послѣдствіемъ; другіе полагаютъ что это происходитъ только отъ сильныхъ ударовъ и сотрясеній; третьи на конецъ думаютъ что такого перехода изъ волокнистаго въ кристалическое сложеніе вовсе не бываетъ, а что тотъ же самый кусокъ, который отъ сильнаго удара представляетъ въ изломѣ зернистое сложеніе, при постепенномъ переломѣ постояннымъ грузомъ будетъ въ изломѣ волокнисто. Авторъ этаго сочиненія собралъ нѣсколько экземпляровъ осей желѣзно дорожныхъ вагоновъ, которыя черезъ два или три года ходу были внезапно сломаны въ слѣдствіе того, что почти незамѣтная съ поверхности трещина у заплечика проникла внутрь оси: сложеніе у всѣхъ было волокнистое. Другія оси съ тѣхъ же заводовъ при переломѣ ударами молота имѣли иныя волокнистое, другія кристалическое сложеніе. Желѣзо должно быть по возможности менѣе подвергаемо сильнымъ ударамъ и сотрясеніямъ въ строеніяхъ для избѣжанія вредныхъ случайностей.

Относительно крѣпкости желѣза весьма важно, чтобы волокна, находящіяся на его поверхности, были сколь можно менѣе прерываемы; или иначе чтобы волокна у поверхности желѣзной штуки были параллельны этой поверхности. Необходимость соблюдать это правило подтверждается выводами опытовъ, сдѣланныхъ авторомъ этого сочиненія надъ переломомъ осей. Двѣ цилиндрическія вагонныя оси, одна прокатная, другая выкованная, каждая четырехъ дюймовъ въ діаметрѣ были взяты для опыта и на концѣ каждой сдѣлано было по два круглыхъ шипа двухъ дюймовъ въ діаметрѣ: одинъ шипъ былъ выточенъ весь сполна, другой выкованъ т. е. желѣзо утонено до требуемой толщины

подъ ударами молота, и потомъ обточено только на одну шестнадцатую долю дюйма, для того чтобы шипъ имѣлъ правильную форму; въ первомъ шипѣ волокна были перерѣзаны, въ второмъ они шли почти параллельно поверхности. Опыты надъ крѣпкостью ихъ производились ударами молота въ $17^3/_4$ фунта вѣсомъ; обточенные шипы были отбиты съ *одного удара;* выкованные шипы были отбиты у прокатной оси при *пятомъ*, у кованой оси при *восьмомъ ударѣ.*

Другое не менѣе важное правило, котораго надобно держаться при начертаніи частей подверженныхъ ударамъ и сотрясеніямъ, есть то, чтобы избѣгать быстрыхъ измѣненій въ толщинѣ и входящихъ угловъ: потому что обыкновенно переломы случаются тамъ, гдѣ есть рѣзкій переходъ отъ одной толщины къ другой или гдѣ есть входящій уголъ. Если двѣ части бруса или балки, подверженныхъ ударамъ и сотрясеніямъ имѣютъ разную толщину, то ихъ подобно соединить кривою поверхностью такъ, чтобы переходъ отъ одной толщины къ другой произошелъ постепенно и безъ входящихъ угловъ.

356. Сталь и сталеватое желѣзо. Сталь, самый твердый изъ металловъ и самое крѣпкое изъ всѣхъ извѣстныхъ веществъ, есть соединеніе желѣза съ 0.5 до 1.5 процентами углерода по вѣсу. Эти два вещества суть, согласно большинству ученыхъ людей, единственныя существенныя составныя части стали.

Названіе полустали или сталеватаго желѣза можетъ быть даваемо соединеніямъ содержащимъ менѣе полупроцента углерода. Относительно твердости и другихъ свойствъ они составляютъ средину между сталью и желѣзомъ.

Вообще эти соединенія тѣмъ тверже и крѣпче, а также и тѣмъ легче плавятся, чѣмъ болѣе углерода они содержатъ; тѣ соединенія въ которыхъ углерода менѣе, хотя они и слабѣе, за то легче свариваются и куются и по гибкости своей должны быть предпочитаемы въ строеніяхъ, подверженныхъ ударамъ.

Разныя примѣси имѣютъ такое же вредное вліяніе на сталь, какъ и на желѣзо (§ 351). Но есть нѣкоторыя постороннія вещества, которыхъ примѣсь производитъ полезное дѣйствіе. Одна двухтысячная часть по вѣсу кремнія производитъ охлажденіе и отвериденіе стали безъ волненія. Присутствіе марганца въ желѣзѣ или присыпка его въ

котелъ или сосудъ, въ которомъ приготовляется сталь, улучшаетъ сталь тѣмъ что увеличиваетъ ея плотность, дѣлаетъ ее ковче, и облегчаетъ свариваніе; но остается ли марганецъ соединеннымъ съ желѣзомъ и углеродомъ въ стали или производитъ онъ полезное дѣйствіе временнымъ своимъ присутствіемъ, это еще не извѣстно.

Сталь имѣетъ свойство *закаливаться* т. е. она можетъ сдѣлаться тверже при внезапномъ охлажденіи послѣ накаливанія или мягче при постепенномъ остываніи: степень твердости или мягкости стали можетъ быть по этому достигнута опредѣленнымъ возвышеніемъ температуры. Обыкновенно поступаютъ такъ, что всѣ стальныя издѣлія доводятъ до одинакой степени твердости быстрымъ охлажденіемъ послѣ накаливанія, потомъ уже дѣлаютъ ихъ мягче посредствомъ отжиганія, т. е. снова нагрѣваютъ до нѣкоторой степени и даютъ остывать постепенно; чѣмъ выше была температура нагрѣванія, тѣмъ мягче будетъ стальное издѣліе. Нагрѣваніе это производится погруженіемъ издѣлій въ баню изъ расплавленнаго металлическаго сплава, котораго температура должна быть отъ 177° до 235° Р.

Полагаютъ что твердая сталь похожа на зернистый бѣлый чугунъ, потому что это есть подобное ему химическое соединеніе желѣза и углерода; и что мягкая сталь похожа на сѣрый чугунъ и есть смѣсь углеродистаго желѣза содержащаго менѣе углерода, нежели твердая сталь, съ другимъ углеродистымъ соединеніемъ, которое богаче содержаніемъ углерода; полагаютъ также что медленное остываніе способствуетъ раздѣленію двухъ углеродистыхъ соединеній.

Сталь приготовляютъ разными способами, которыхъ число въ послѣднее время очень увеличилось. Ихъ можно раздѣлить на два главныхъ разряда: одними къ желѣзу прибавляется углеродъ, другими уменьшается количество углерода въ чугунѣ. Первые способы, не смотря на сложность и дороговизну предпочитаются для стали, употребляемой на ножи, пилы и тому подобные инструменты, потому что легче получить въ чистомъ видѣ желѣзо нежели чугунъ. Второй разрядъ способовъ лучше прилагается къ добыванію стали и сталеватаго желѣза въ короткое время и съ малыми издержками.

Вотъ нѣкоторые способы приготовленія разныхъ видовъ стали:

I. *Томленая, цементная сталь* или *морянка* (blister steel) приготовляется цементованіемъ; бруски самаго чистаго желѣза (добытые напримѣръ изъ магнитныхъ рудъ посредствомъ деревеснаго угля) кладутся въ порошокъ изъ древеснаго угля и подвергаются нѣсколько дней нагрѣванію при высокой температурѣ. Каждый брусокъ поглощаетъ углеродъ и съ поверхности обращается въ сталь, а внутренность будетъ веществомъ среднимъ между желѣзомъ и сталью. Цементованіе можетъ быть также произведено тѣмъ, что желѣзо будетъ подвергнуто дѣйствію тока углеводороднаго газа при высокой температурѣ. Цементованію подвергаютъ также иногда желѣзныя издѣлія, для того чтобы обратить ихъ поверхность въ сталь.

II. Бруски цементной стали складываютъ въ пакеты и прокатываютъ ихъ въ раскаленномъ состояніи, это повторяется нѣсколько разъ до тѣхъ поръ, пока получится однородная посоставу и плотная масса. Такая сталь употребляется для инструментовъ и ножевыхъ издѣлій.

III. *Литая сталь* приготовляется проплавкою брусковъ цементой стали съ прибавкою нѣкотораго количества углерода, обыкновенно въ видѣ смолы, и марганца. Это есть самая чистая, однородная и крѣпкая сталь; употребляется тоже на инструменты.

Другой способъ приготовленія литой стали, требующій высшей температуры нежели предъидущій, состоитъ въ томъ, что расплавляютъ бруски чистаго желѣза съ марганцомъ и всѣмъ тѣмъ количествомъ углерода, которое нужно для образованія стали. Степень твердости стали зависитъ отъ пропорціи углерода. По этому же способу, но при меньшемъ количествѣ углерода, приготовляется полу сталь или сталеватое желѣзо.

IV. *Бессемерова сталь* приготовляется изъ расплавленнаго чугуна двумя способами: вдуваніе воздуха прекращается въ такое время, когда въ чугунѣ осталось довольно углерода для образованія стали, время это должно быть опредѣлено опытами; или чугунъ совсѣмъ обезуглероживается струями вдуваемаго воздуха, такъ что въ котлѣ получается совершенно чистое желѣзо въ расплавленномъ состояніи, а углеродъ прибавляется потомъ вмѣстѣ съ марганцемъ и кремніемъ. Изъ этой стали дѣлаютъ большіе куски, которые куются или прокатываются подобно желѣзнымъ пакетамъ.

V. *Пудлингованная, сырая сталь* или *укладъ* добывается пудлингованіемъ чугуна, прекращая этотъ процессъ тогда, когда въ чугунѣ осталось еще необходимое для стали количество углерода. Куски этой стали куются и прокатываются какъ желѣзо.

VI. *Зерновая сталь* добывается по способу изобрѣтенному капитаномъ Ухатіусомъ: расплавленный чугунъ выливается въ чанъ съ водою, гдѣ колесо разбиваетъ его въ зерна величиною въ орѣхъ. Зерна эти кладутся въ порошокъ кровавика или желѣзнаго шпата и подвергаются нагрѣванію до такой температуры, при которой часть кислорода руды соединяется съ углеродомъ чугуна; чугунныя зерна съ поверхности обращаются въ желѣзо, внутри же остается чугунъ. Разкисленіе руды доставляетъ тоже нѣкоторое количество желѣза. Всѣ эти вещества сплавленныя вмѣстѣ даютъ сталь.

Есть и другіе еще не опубликованные способы добыванія стали и сталеватаго желѣза.

357. Крѣпкость желѣза и стали. Желѣзо подобно всѣмъ волокнистымъ веществамъ имѣетъ большую вязкость вдоль волоконъ нежели поперегъ ихъ; и вязкость желѣза болѣе нежели сопротивленіе его раздробленію. Вліяніе этаго обстоятельства на выборъ формы поперечнаго сѣченія балокъ указано было въ § 164.

Желѣзо въ слѣдствіе тягучести своей иногда постепенно измѣняетъ свою форму подъ дѣйствіемъ груза, такъ что трудно съ точностью опредѣлить его крѣпкость.

Продольная вязкость желѣза значительно увеличивается при прокатываніи и вытягиваніи его въ проволоку, такъ что бруски малыхъ поперечныхъ размѣровъ вообще крѣпче нежели большихъ размѣровъ; проволока же еще крѣпче какъ это видно въ таблицѣ крѣпкости матеріаловъ.

Желѣзо слабѣетъ отъ слишкомъ частаго нагрѣванія и ковки, такъ что даже самыя лучшія большія желѣзныя издѣлія имѣютъ вязкость на одну четверть меньшую вязкости тѣхъ полосъ изъ которыхъ они сдѣланы, а иногда бываютъ и еще слабѣе.

Относительно вліянія жару на желѣзо опыты Ферберна показываютъ:

I. Что вязкость котельнаго желѣза при возвышеніи температуры до 162° Р. не терпитъ замѣтнаго измѣненія,

но при темномъ краснокалильномъ жарѣ она уменьшается до трехъ четвертей.

II. Что вязкость хорошаго заклепочнаго желѣза увеличивается съ возвышеніемъ температуры до 128°, при которой оно почти на одну треть болѣе нежели при обыкновенной температурѣ атмосферы; потомъ она уменьшается и при краснокалильномъ жарѣ бываетъ немногимъ болѣе половины вязкости желѣза при обыкновенной температурѣ.*)

Сопротивленіе желѣзныхъ заклепокъ скалыванію почти одинаково съ вязкостью лучшаго котельнаго желѣза.

Объ сопротивленіи желѣза раздробленію говорено было въ § 157.

Много было дѣлано опытовъ для опредѣленія вязкости стали; но крѣпкость ея въ другихъ отношеніяхъ мало изслѣдована. Вязкость стали увеличивается прокатываніемъ и вытягиваніемъ подобно вязкости желѣза.

Опыты объ которыхъ говорено было въ примѣчаніи къ § 142 показали, что прочная крѣпкость желѣза составляетъ третью долю разрушающаго груза.

358. Отпоръ желѣза и чугуна. Чтобы имѣть точную мѣру способности матеріала сопротивляться ударамъ вытягивающимъ его, надобно знать его коефицентъ упругости и вязкость; *коефицентъ отпора*, какъ объяснено было въ § 149, получается *въ пудодюймахъ на кубическій дюймъ* раздѣленіемъ квадрата прочной вязкости на коефицентъ. Прочную вязкость желѣза и стали надобно считать въ одну треть крайней вязкости.

Вотъ примѣры такого вычисленія.

---

*) Крайнее изкаженіе жельза или удлиненіе его передъ разрывомъ бываетъ различно отъ 0.031 до 0.280. По этому удлиненію можно судить объ тягучести метала, но не очень точно, потому что удлиненіе бруска передъ разрывомъ состоитъ не въ удлиненіи всѣхъ его частицъ, а въ растяженіи бруска съ перемѣною въ расположеніи частицъ. Удлиненіе короткихъ брусковъ болѣе нежели длинныхъ, вѣроятно толщина ихъ тоже имѣетъ вліяніе на величину изкаженія.

Металы.	Крайняя вязкость.	Прочная вязкость.	Коефицентъ упругости.	Коефицентъ отпора.
Желѣзо въ брускахъ	1661	554	803030	0.3919
„ котельное	1385	462	664580	0.3204
„ проволока	2492	831	700580	0.9849
Сталь мягкая	2492	831	803030	0.8592
„ твердая	3655	1218	1163012	1.2765
Чугунъ слабый	371	124	387673	0.0395
„ крѣпкій	803	268	634124	0.1130

Чтобы выразить силу сопротивленія ударамъ сжимающимъ матеріалъ, можно вставить вмѣсто вязкости сопротивленіе раздробленію въ этихъ вычисленіяхъ; но въ слѣдствіе не прямаго способа по которому совершается раздробленіе, выводы будутъ сомнительной точности.

359. Порча желѣза и чугуна и ихъ предохраненіе. Въ § 330 говорено было объ лучшихъ способахъ предохраненія поверхности желѣза отъ окисленія.

Чугунъ можетъ долгое время сохраняться отъ ржавчины, если кора его не испорчена, потому что на ней есть слой кременкислой окиси желѣза, произведенный дѣйствіемъ формовой глины на чугунъ. Закаленая поверхность чугунныхъ издѣлій не имѣетъ этаго предохранительнаго слоя и потому скорѣе ржавѣетъ.

Желѣзо скорѣе ржавѣетъ ежели находится попеременно то на воздухѣ, то въ водѣ, нежели тогда когда или постоянно погружено въ воду или постоянно находится въ сухомъ воздухѣ. Порча желѣза ускоряется присутствіемъ нечистотъ въ водѣ, особенно же разлагающихся органическихъ веществъ или свободныхъ кислотъ. Она ускоряется прикосновеніемъ желѣза къ металамъ, которые електро-отрицательны относительно желѣза или иначе говоря, которые имѣютъ меньше сродства съ кислородомъ, а также въ прикосновеніи съ ржавчиною.

Если двѣ части какой нибудь массы желѣза находятся въ разныхъ условіяхъ, такъ что одна имѣетъ менѣе прикосновенія съ кислородомъ нежели другая, то прикосновеніе съ первою заставляетъ вторую ржавѣть скорѣе.

Вообще твердое и кристалическое желѣзо менѣе окисляется нежели тягучее и волокнистое.

Чугунъ и сталь разлагаются очень быстро въ теплой или нечистой морской водѣ.

Желѣзо, которое постоянно въ дрожаніи, меньше окисляется нежели то, которое находится въ покоѣ; примѣръ этому представляютъ желѣзнодорожные рельсы, которые менѣе ржавѣютъ на тѣхъ дорогахъ, гдѣ движеніе больше.

ОТДѢЛЪ II. ЖЕЛѢЗНЫЯ СКРѢПЫ.

360. Заклепки дѣлаются изъ самаго плотнаго и тягучаго желѣза. Для того чтобы заклепка могла хорошо связывывать два или болѣе листовъ или полосъ желѣза, и для того чтобы скалывающая или сдвигающая сила которая стремится отдѣлить листы или полосы другъ отъ друга распространялась равномѣрно по всей площади сѣченія заклепки, надобно чтобъ она сидѣла плотно въ отверстіи. Продольное сжатіе производимое во время заклепыванія ручною или машинною работою производитъ это плотное прижатіе.

Вотъ обыкновенные размѣры заклепокъ: *діаметръ* заклепки для листовъ толщиною менѣе полудюйма долженъ быть почти вдвое больше толщины листа; при болѣе толстыхъ листахъ или полосахъ заклепка можетъ имѣть діаметръ въ полтора разъ болѣе ихъ толщины; *длина* заклепки, измѣряемая отъ ея шляпки, должна быть равна суммѣ толщинъ склепываемыхъ листовъ или полосъ съ прибавкою увеличеннаго въ два съ половиною раза діаметра заклѣпки.

Такъ какъ сопротивленіе заклепокъ скалыванію почти равно вязкости хорошаго листоваго желѣза т. е. около 1384 пудовъ на квадратный дюймъ, то растояніе между заклепками связывающими два листа опредѣляется потому правилу, чтобы *общая площадь сѣченія заклепокъ была равна поперечному сѣченію связываемаго листа послѣ просверленія въ немъ дыръ для заклепокъ.* Правило это выражается слѣдующею алгебрическою формулою.

Пусть t означаетъ толщину желѣзнаго листа или полосы, d діаметръ заклепки, n число рядовъ заклепокъ; разъумѣется что рядъ заклепокъ имѣетъ направленіе перпендикулярное къ силѣ вытягивающей; c означаетъ разстояніе отъ центра одной до центра другой заклепки того же ряда.

$$c = d + \frac{0.7854\, n\, d^2}{t} \quad \ldots\ldots (1.)$$

Каждый листъ ослабленъ просверленными дырами въ отношеніи

$$\frac{c-d}{c} = \frac{0.7854\,n\,d}{t+0.7854\,n\,d} \quad \ldots\ldots (2.)$$

При заклепкахъ въ одинъ рядъ $n=1$, при двухъ рядахъ $n=2$ и заклепки располагаются въ шахматномъ порядкѣ; при цѣпномъ расположеніи заклепокъ n можетъ имѣть разныя величины большія 1. При расположеніи заклепокъ въ одинъ рядъ вязка ослаблена въ отношеніи 4 къ 5 отъ неравномѣрнаго разпредѣленія натянутости.

Положимъ что при цѣпномъ расположеніи разстояніе c между центрами заклепокъ опредѣлено такъ, чтобы полосы или листы ослаблены были просверлеными дырами не далѣе извѣстнаго предѣла; чтобы найти число рядовъ или что все равно число заклепокъ въ каждой линіи можно употребить формулу

$$n = \frac{(c-d)\,t}{0.7854\,d^2} \quad \ldots\ldots\ldots (3.)$$

361. Гвозди и клинья. Эти скрѣпы подобно заклепкамъ подвержены сдвигающимъ усиліямъ и сверхъ того передаютъ распоръ или натянутость отъ одной желѣзной части строенія дргой и правило для опредѣленія ихъ площади сѣченія тоже самое, съ тѣмъ только различіемъ, что такъ какъ гвоздь или клинъ не сидятъ плотно въ своемъ гнѣздѣ, то сдвигающее усиліе въ немъ не равномѣрно разпредѣляется и въ срединѣ сильнѣе нежели у краевъ, какъ было сказано объ этомъ въ § 168. Отношеніе въ которомъ наибольшее сдвигающее напряженіе превосходитъ среднее означено количествомъ $q_0\ A:F$, котораго численныя величины наиболѣе употребительныя на практикѣ суть для прямоугольныхъ гвоздей и клиньевъ $^3/_2$, для круглыхъ и элиптическихъ $^4/_3$ и площадь сѣченія ихъ должна быть въ этомъ отношеніи увеличена противъ той, какую можно было бы имъ дать при равномѣрномъ разпредѣленіи напряженія.

Для того чтобы клинъ немогъ выйти изъ своего мѣста уголъ его наклоненія не долженъ превосходитъ угла покоя желѣза, который надобно считать въ 4^0, на случай влажности поверхностей прикосновенія.

362. Болты и винты подверженные скалывающимъ

силамъ должны имѣть діаметръ одинакій съ цилиндрическими гвоздями; если подвержены вытягиванію, то поперечное сѣченіе опредѣляется сообразно натянутости. Опредѣленный вычисленіями діаметръ есть во всѣхъ случаяхъ внутренній діаметръ безъ нарѣзки.

Выступъ нарѣзки бываетъ обыкновенно въ половину хода винта; а ходъ винта долженъ быть вообще не болѣе пятой доли внутренняго діаметра, иногда даже меньше.

Для того чтобы нарѣзка не могла быть сколота или срѣзана сопротивленіе ея должно быть равно сопротивленію болта, и для этаго длина гайки должна быть равна по крайней мѣрѣ половинѣ внутренняго діаметра винта; ее дѣлаютъ часто и длиннѣе напримѣръ до полутора діаметра.

Діаметръ головы болта бываетъ большею частью вдвое больше діаметра винта, а высота обыкновенно болѣе пяти восьмыхъ этого діаметра.

ОТДѢЛЪ III. ЖЕЛѢЗНЫЯ СТРУНЫ, ПОДПОРЫ И БАЛКИ.

363. Формы желѣзныхъ брусьевъ. При проэктированіи обыкновенныхъ желѣзныхъ строеній должно, во избѣжаніе большихъ издержекъ и потери времени, назначать желѣзо такихъ формъ, какія имѣются въ продажѣ; количество этихъ формъ безперестанно увеличивается. Инженеръ долженъ проэктировать новую форму въ томъ только случаѣ, когда этимъ достигается какая нибудь важная и существенная цѣль.

Вотъ самыя обыкновенныя формы желѣзныхъ брусьевъ.

Круглое желѣзо имѣющее въ поперечномъ сѣченіи кругъ.

Квадратное желѣзо съ квадратнымъ поперечнымъ сѣченіи.

Полосовое желѣзо прямоугольное въ поперечномъ сѣченіемъ.

Полукруглое или выпуклое желѣзо съ одной стороны плоское, а съ другой цилиндрическое.

Угловое желѣзо имѣющее въ поперечномъ сѣченіи форму L.

Тавровое желѣзо формы T состоящее изъ лежня и ребра.

Двойное тавровое желѣзо съ двумя лежнями и однимъ ребромъ.

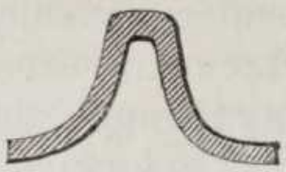
Желобчатое желѣзо плоское съ одной стороны и представляющее съ другой прямоугольный желобъ.

Полосовое желѣзо съ цинлиндрическимъ утолщеніемъ у однаго или обоихъ краевъ.

На чертежахъ 229 и 230 представлены поперечныя сѣченія рельсовъ называемыхъ въ Англіи Bridge-rail и Barlow-rail.



Чер. 229.



Чер. 230.

Иногда изготовляютъ желѣзныя полосы имѣющія крестообразное поперечное сѣченіе: но эта форма не совмѣстна съ добротностью желѣза. Если окажется необходимымъ употребить желѣзо этой формы, то лучше его составить изъ двухъ тавровыхъ или четырехъ угловыхъ желѣзныхъ полосъ.

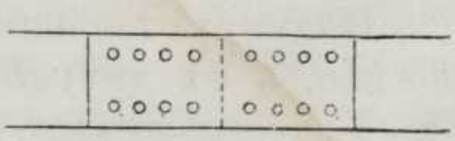
Вообще не должно безъ крайней нужды давать желѣзу такія формы для которыхъ волокна его надобно перекошивать при обработкѣ.

Угловое и вообще фигурное желѣзо при толщинѣ превосходящей одинъ дюймъ всегда менѣе добротно нежели то, которое тоньше. Если нужно имѣть желѣзный брусъ большой толщины, то его лучше составить изъ нѣсколькихъ тонкихъ брусьевъ.

364. Желѣзныя струны должны предпочитаться чугуннымъ, потому что вязкость желѣза втрое болѣе вязкости чугуна.

Струна можетъ состоять или изъ одной желѣзной полосы, или изъ нѣсколькихъ сложенныхъ вмѣстѣ полосъ, изъ проволокъ составляющихъ связку или свитыхъ въ канатъ; вдоль тоже струна можетъ быть цѣльная или состоять изъ двухъ или болѣе частей. При большомъ числѣ короткихъ частей струна обращается *въ цѣпь*, а части ея называются *звѣньями*.

I. *Плоскія желѣзныя струны* связываются изъ желѣзныхъ полосъ или листовъ котельнаго желѣза при помощи приклепанныхъ накладокъ. Чертежъ 231 представляетъ концы двухъ частей желѣзной струны; стыкъ ихъ означенъ пунктирной линіею; онѣ связаны накладкой; заклепки имѣютъ цѣпное расположеніе Правила, по которымъ опредѣляются размѣры, число и расположеніе заклепокъ изложены въ § 360, тамъ же сказано на сколько дѣйствительная площадь сѣченія струны уменьшается отъ существованія заклепочныхъ отверстій.



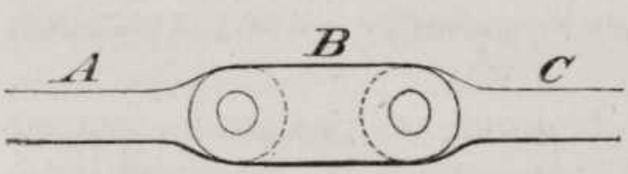
Чер. 231.

Когда струна состоитъ изъ нѣсколькихъ полосъ или листовъ то стыки должны быть расположены въ перевязку и противъ каждаго стыка должны быть помѣщены накладки по сторонамъ для того чтобы передавать ту часть натянутости, которая падаетъ на стыкаемую полосу.

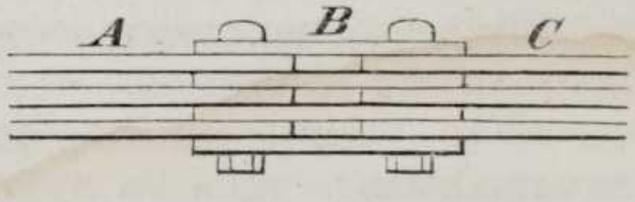
II. *Желѣзныя струны* могутъ быть также изъ круглаго или квадратнаго желѣза, на концахъ имѣютъ они тогда проушины, сквозь которыя пропускаются прикрѣпляющіе ихъ болты или клинья: объ размѣрахъ этихъ скрѣпъ говорено было въ § 361 и 362. Клинья и винты употребляются для натягиванія струнъ.

Когда на концѣ желѣзной полосы или бруса дѣлается проушина, тогда надобно такъ распорядиться, чтобы бока ея имѣли достаточную крѣпкость. Натянутость въ нихъ разпредѣлена не равномѣрно, у внутренней стороны она больше нежели у наружной; сообразно съ этимъ можно дать бокамъ проушины въ поперечномъ сѣченіи площадь въ полтора раза болѣе нежели сколько нужно при равномѣрномъ разпредѣленіи натянутости.

III. *Плоскія цѣпи* или составныя струны дѣлаются изъ полосъ желѣза, помѣщаемыхъ одна возлѣ другой и связанныхъ болтами, которые проходятъ сквозь проушины какъ показано въ профилѣ на чер. 232 и планѣ на чер. 232^x. Полосы ставятся на ребро и имѣютъ отъ того



Чер. 232.

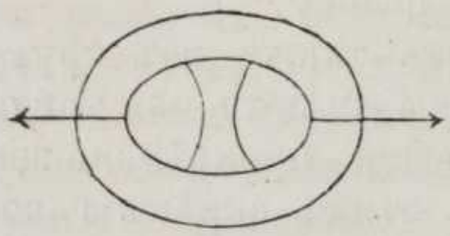


Чер. 232^x.

большую жесткость, а цѣпь остается гибкою. Число полосъ или колѣнъ поперемѣнно четное и нечетное: такъ колѣна A и C находятся на чертежахъ въ нечетномъ и колѣна B въ четномъ числѣ. Размѣры болтовъ опредѣляются по правиламъ § 361 принимая въ расчетъ число поперечныхъ сѣченій, въ которыхъ можетъ прозойти скалываніе, по тому что напряженіе разпредѣляется между этими поперечными сѣченіями, на чертежѣ 232^x ихъ показано шесть. Объ проушинахъ говорено было въ предъидущей статьѣ.

IV. *Цѣпи съ овальными звѣньями* имѣютъ въ каждомъ

звѣнѣ какъ показано на чер. 233 распорку, которая препятствуетъ его сплющиванію, если изъ опытовъ видно, что натянутость распредѣляется равномѣрно въ поперечномъ сѣченіи обоихъ боковъ звѣна. Когда нѣтъ этой разпорки то крѣпкость уменьшается въ отношеніи 85 къ 100 или 6 къ 7.



Чер. 233.

V. *Проволочные канаты* дѣлаются иногда изъ пучковъ параллельныхъ между собою проволокъ, которыя связываются въ одно и сжимаются обмотанною во кругъ проволокою. Когда приготовляютъ такой канатъ, то надобно стараться чтобы натянутость равномѣрно разпредѣлялась на всѣ проволоки. Этого равномѣрнаго разпредѣленія достигаютъ, безъ всякихъ особенныхъ пріемовъ, въ некрученыхъ проволочныхъ канатахъ въ которыхъ проволоки соединяются въ пасмы, а пасмы въ канаты безъ крученія отдѣльныхъ проволокъ, такъ что волокна всѣ нескручены и одинаково натянуты. Это есть самый крѣпкій проволочный канатъ выдерживающій до 2492 пудовъ вытягивающаго усилія на квадратный дюймъ или 27.000 футъ своего собственнаго вѣса.

Лучшее и можетъ быть даже единственное безопасное средство укрѣплять концы проволочнаго каната состоитъ въ томъ, чтобы проволоки огибали болтъ, къ которому прикрѣпляется цѣпь, или кольцо надѣваемое на болтъ.

Надобно приложить особенную заботу о предохраненіи пролоки отъ окисленія.

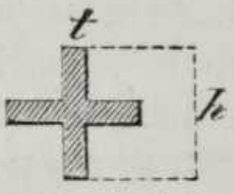
VI. *Сваренныя струны.* Концы желѣзныхъ полосъ накладывались одна на другую, нагрѣвались газовой лампою и потомъ сжимались сильнымъ давленіемъ; точной мѣры крѣпкости такой связи нѣтъ. Опытъ надъ разрывомъ реторты изъ котельнаго желѣза свареннаго такимъ образомъ показали, что сопротивленіе такой вязки равно 851,48 пуда на квадратный дюймъ или около трехъ пятыхъ цѣльнаго желѣза.

VII. При пробѣ желѣзныхъ струнъ можно ихъ безопасно нагружать половиною внезапно разрывающаго груза, не опасаясь постояннаго изкаженія потому что пробная нагрузка прилагаются только одинъ разъ; частыя нагрузки такой же величины могутъ разорвать струну.

365. Чугунныя подпорки и распорки. Чугунъ по большой своей степени сопротивленія раздробленію очень хо-

рошъ для подпорокъ, особенно если онѣ не имѣютъ большой длины. Лучшая форма поперечнаго сѣченія для столба или подпоры при данномъ количествѣ матеріала есть пустой въ срединѣ или полый цилиндръ: объ крѣпкости такихъ столбовъ говорено въ § 158; толщина металла въ нихъ рѣдко бываетъ менѣе двѣнадцатой доли діаметра.

Другая весьма употребительная форма поперечнаго сѣченія столбовъ есть крестъ (чер. 234). Крѣпкость такого столба можетъ быть вычислена по формуламъ (4 и 5) § 158 вставляя въ нихъ вмѣсто a количество большее, нежели для полаго цилиндра въ такомъ отношеніи въ какомъ брусъ съ крестовымъ сѣченіемъ гибче полаго цилиндрическаго при томъ же діаметрѣ и тойже площади сѣченія, т. е. въ отношеніи 3 къ 1.



Чер. 234.

Подобное же разсужденіе приводитъ къ тому, что въ случаѣ полаго квадрата, котораго діагональ равна діаметру цилиндра, коефицентъ a надобно увеличить въ отношеніи 3 къ 2.

И такъ для раздробляющаго груза въ пудахъ на квадратный дюймъ чугунныхъ столбовъ имѣемъ формулы.

Крестъ, діаметръ отъ одного конца до другаго h

$$2215 : 1 + \frac{3}{400}\,\frac{l^2}{h^2}$$

Полый квадратъ, діагональ h

$$2215 : 1 + \frac{3}{800}\,\frac{l^2}{h^2}$$

Полый цилиндръ, діаметръ h

$$2215 : 1 + \frac{1}{400}\,\frac{l^2}{h^2}$$

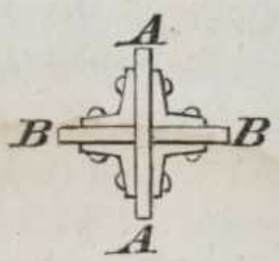
Формулы эти относятся къ тому случаю, когда оба конца подпоры неподвижны въ направленіи. Въ случаѣ вязокъ вверху и внизу столба второй членъ дѣлителя должно въ четверо увеличить.

Для того чтобы ограниченный плоскостью столбъ имѣлъ болѣе устойчивости, концы его должны быть уширены въ видѣ капители или базы, которыхъ опорныя плоскости должны быть обточены перпендикулярно къ оси столба. Для той же цѣли если столбъ состоитъ изъ нѣсколькихъ частей или счалковъ, то части эти должны быть ограничены тоже перпендикулярными къ оси столба плоскостями такъ, чтобы плотно и ровно прилегать другъ къ другу;

счалки эти должны быть связаны между собою по крайней мѣрѣ четырьмя болтами, проходящими сквозь закрайны при концахъ счалковъ.

366. Желѣзные столбы и распорки. Правила по которымъ опредѣляется крѣпкость желѣзныхъ распоръ и подпоръ изложены въ § 158. Изъ формулъ выведенныхъ Гордономъ на основаніи опытовъ Годжкинсона видно, что чугунъ есть лучшій матеріалъ для столбовъ, которыхъ высота не превосходитъ извѣстнаго отношенія къ діаметру, по переходѣ за этотъ предѣлъ желѣзо должно быть предпочитаемо чугуну. Для столбовъ съ плоскими концами этотъ предѣлъ согласно формулѣ есть 26; при соединенныхъ вязками концахъ онъ есть 13; но по способу вычисленія этихъ предѣловъ ихъ можно считать только приблизительными.

Для приданія жесткости желѣзнымъ распоркамъ имъ даютъ въ поперечномъ сѣченіи формы: угловую, тавровую, двойную тавровую, желобчатую и т. п. Очень хороша также крестовая форма, которую составляютъ изъ желѣзныхъ полосъ другихъ простѣйшихъ формъ; крестъ можно составить изъ двухъ полосъ тавроваго желѣза, сложенныхъ лежнями, или изъ четырехъ полосъ угловаго желѣза или наконецъ составить крестъ по чертежу 235 изъ широкой плоской полосы $A\,A$, двухъ узкихъ плоскихъ же полосъ B и B и четырехъ угловыхъ; все связывается вмѣстѣ заклепками. Эту форму имѣютъ діагональные раскосы Крумлинскаго путепровода (чер. 228). Распорка имѣющая двойную тавровую форму можетъ быть сдѣлана изъ одной полосы такой формы или составлена изъ полосъ другихъ формъ по тому способу, который будетъ объясненъ въ статьѣ о балкахъ. Рельсъ Барлоу (чер. 230) есть тоже хорошая форма для распорокъ.

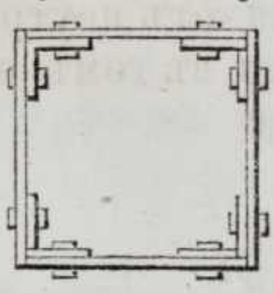


Чер. 235.

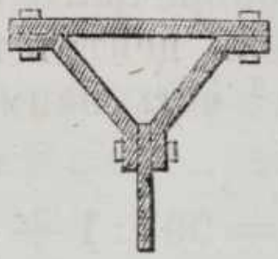
Самая жесткая форма для желѣзныхъ распоръ или подпоръ есть трубчатая цилиндрическая, прямоугольная или триугольная; чер. 236 есть разрѣзъ прямоугольной трубы, состоящей изъ четырехъ листовъ котельнаго желѣза связанныхъ по угламъ угловымъ желѣзомъ изаклепками. Чертежъ 237 есть поперечный разрѣзъ триугольной трубы, составляющей верхній край желѣзной балки.

Чертежъ 238 есть простая форма поперечнаго сѣченія

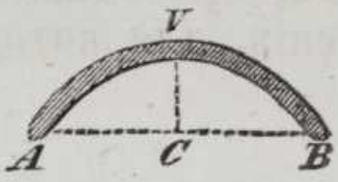
желѣзной распорки, представляющая отрѣзокъ круга: ее можно усилить угловымъ желѣзомъ по краямъ.



Черт. 236.



Черт. 237.



Черт. 238.

Когда желѣзная распорка имѣетъ вязки по концамъ, то она упирается въ круглый болтъ, соединенный съ другими частями строенія такъ, какъ описано было въ статьѣ о струнахъ. Для того чтобы утвердить въ направленіи распорку, которая рѣдко имѣетъ широкую опорную плоскость, надобно связывать ее съ близь лежащими частями строенія болтами и заклепками.

Жесткость дается составной распоркѣ тѣмъ, что стыки брусьевъ, изъ которыхъ она сдѣлана, располагаются въ перевязку. Плоскости стыковъ должны быть непремѣнно перпендикулярны къ направленію распорки, брусья тогда будутъ плотно упираться другъ въ друга и равномѣрно передавать давленіе. Лучше всего обрѣзывать такіе брусья машиною, которая состоитъ изъ двухъ круглыхъ пилъ на одной оси; разстояніе между пилами должно быть равно длинѣ бруса. Брусъ помѣщается параллельно оси и постепенно къ ней придвигается, по мѣрѣ отпиливанія концовъ.

Формула (4) § 158 Гордона для крайней крѣпкости желѣзныхъ распоръ, выведенная изъ опытовъ Годжкинсона, можетъ быть представлена въ такомъ видѣ

$$\frac{P}{S} = 997 : 1 + a\frac{l^2}{h^2}$$

гдѣ коефиціентъ a для неподвижныхъ въ направленіи распорокъ и имѣющихъ въ сѣченіи сплошной прямоугольникъ, есть $^1/_{3000}$; h наименьшее измѣреніе прямоугольника.

Для другихъ поперечныхъ сѣченій дана была недавно приблизительная формула, въ которой h надобно разсматривать какъ наименьшее измѣреніе описаннаго около поперечнаго сѣченія треугольника или прямоугольника; но во многихъ случаяхъ лучше принимать въ расчетъ *плечо инерціи* (radius of gyration) поперечнаго сѣченія, также какъ и въ предъидущемъ параграфѣ; а формула пред-

ставится тогда въ слѣдующемъ видѣ, въ которомъ r есть плечо инерціи, т. е. r^2 есть среднее между квадратами разстояній частицъ поперечнаго сѣченія отъ неутральной оси, проходящей черезъ центръ тяжести въ томъ направленіи, для котораго r^2 есть наименьшее

$$\frac{P}{S} = 997 : 1 + \frac{l^2}{36.000 r^2}$$

въ случаѣ вязокъ по концамъ распорки подобно поставить 9000 вмѣсто 36.000.

Вотъ величины r^2 для разныхъ фигуръ.

I. Сплошной прямоугольникъ; наименьшее измѣреніе h — $\frac{h^2}{12}$

II. Тонкостѣнная квадратная труба; бокъ h — $\frac{h^2}{6}$

III. Тонкостѣнная прямоугольная труба; ширина b; высота h — $\frac{h^2}{12} \cdot \frac{h+3b}{h+b}$

IV. Тонкостѣнная триугольная труба на верхнемъ ребрѣ балки (чер. 237); основаніе триугольника b — $\frac{b^2}{12}$

V. Сплошной цилиндръ; діаметръ h — $\frac{h^2}{16}$

VI. Тонкостѣнная цилиндрическая труба; діаметръ h — $\frac{h^2}{8}$

VII. Угловое желѣзо съ равными боками; длина бока b — $\frac{b^2}{24}$

VIII. Угловое желѣзо съ неравными боками; длина большаго бока b, меньшаго h — $\frac{b^2 h^2}{12(b^2+h^2)}$

IX. Крестъ равносторонній — $\frac{h^2}{24}$

X. Двойное желобчатое желѣзо формы H; ширина боковъ b; общая ихъ площадь B; площадь ребра A — $\frac{b^2}{12} \cdot \frac{A}{A+B}$

XI. Желобчатое желѣзо; высота боковъ, увеличенная половиною толщины ребра, h; площадь ребра B; площадь боковъ A — $h^2\left(\frac{A}{12(A+B)} + \frac{AB}{4(A+B)^2}\right)$

XII. Рельсъ Барлоу; двѣ четверти круга описанныя радіусомъ R, измѣряемымъ до средины толщины; пло-

щадь головы равна суммѣ площадей кривыхъ частей, умноженной на 0.273 около $\frac{R^2}{7}$

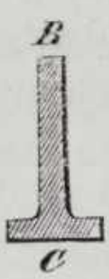
XIII. Пара рельсовъ Барлоу, связанныхъ основаніями 0.393 R^2

XIV. Отрѣзокъ круга длиною $2R\Theta$, при радіусѣ R

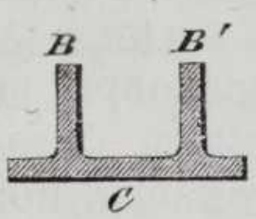
$$\left\{\frac{1}{2}+\frac{\cos\Theta\sin\Theta}{2\Theta}-\frac{\sin^2\Theta}{\Theta^2}\right\}R^2$$

367. Чугунныя балки. О правилахъ, общихъ всѣмъ балкамъ и приложимыхъ также и къ чугуннымъ, сказано въ §§ отъ 169 до 179.

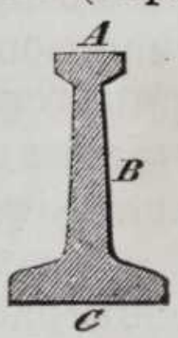
Особенныя свойства чугуна, которыя надобно принимать въ соображеніе при начертаніи балокъ, изложены въ §§ 164, 166, 167, 353 и 354. Самыя обыкновенныя и употребительныя формы поперечнаго сѣченія чугунныхъ балокъ суть: обратная тавровая форма (чер. 239), двойная тавровая (чер. 241) и желобчатая съ закраинами (чер. 240).



Чер. 239.



Чер. 240.



Чер. 241.

О поперечномъ сопротивленіи обратной тавровой формы говорено въ § 163 примѣръ VIII. О сдѣланіи отношенія площади лежня къ площади ребра такимъ, чтобы сопротивленіе раздробленію въ B было равно сопротивленію разрыву въ C сказано въ § 164 случай 1. Тѣ же формулы проложимы къ желобчатой формѣ, которой два ребра должны имѣть оба вмѣстѣ толщину, равную толщинѣ ребра тавровой формы.

Толщина какъ лежня, такъ и ребръ должна быть совершенно или почти одинакова по причинамъ, изложенныхъ въ § 354.

Двойная тавровая форма введена Годжкинсономъ съ цѣлью уравнять сопротивленіе вверху и внизу. Объ относительной величинѣ размѣровъ этой формы смотрите 2-й случай § 164.

Чтобы сдѣлать нижній вытягиваемый лежень C довольно большимъ сравнительно съ сжимаемымъ A, нужно

сдѣлать первый гораздо толще втораго; вмѣстѣ съ тѣмъ можно удовлетворить и тому правилу, чтобы избѣгать внезапныхъ переходовъ въ толщинѣ тѣмъ, что назначить толщину ребра вверху, одинакую съ толщиною верхняго лежня и увеличивая ее постепенно довести къ низу до толщины, одинаковой съ нижнимъ лежнемъ *C*.

Поперечныя утолщенія, а также украшенія для чугуна негодятся, потому что у нихъ бываютъ обыкновенно воздушные пузыри, а также около нихъ чугунъ можетъ лопаться при остываніи.

Просвѣтовъ въ отвѣсномъ ребрѣ тоже не должно быть частью по той же причинѣ, частью же потому что подобныя пустоты уменьшаютъ сопротивленіе сдвигающему дѣйствію груза.

Разныя формы *равной крѣпкости* въ продольномъ сѣченіи, описанныя въ § 165 удобнѣе выполняются въ чугунѣ, нежели въ другихъ матеріалахъ и часто употребляются, особенно изображенныя на чертежахъ отъ 141 до 145.

Формы горизонтальнаго сѣченія (чер. 142 и 144) прилагаются къ лежнямъ балокъ двойной тавровой формы, имѣющимъ вездѣ одинаковую высоту.

Въ опорахъ чугунныхъ балокъ должно быть принимаемо въ расчетъ у одного конца измѣненіе длины на 0.00111 для перемѣны температуры въ 80° Р. отъ замерзанія до кипѣнія воды или по 0,000014 на 1° Р.

368. Составныя чугунныя балки. Рѣдко бываетъ выгодно употреблять такія чугунныя балки, которыя нельзя сдѣлать изъ одного куска; но если бы оказалось необходимымъ составить балку изъ нѣсколькихъ частей, то должно наблюдать слѣдующія правила.

Выше неутральной оси стыки составныхъ частей должны быть плоскіе, плотные и совершенно перпендикулярные къ оси балки.

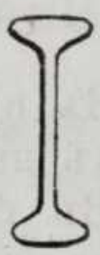
Ниже неутральной оси части должны быть связаны желѣзными болтами, проходящими сквозь закраины; болты замѣняютъ тутъ нижній или вытягиваемый лежень балки и общая ихъ площадь должна быть такъ расчитана, чтобы удлиненіе ихъ при данной натянутости равно было удлиненію лежня, который они замѣняютъ. Это условіе бываетъ выполнено когда ихъ площадь сѣченія составляетъ около половины площади лежня; при этихъ размѣрахъ они будутъ превосходить лежень своею вязкостью.

Болты должно такъ располагать, чтобы среднее между квадратами ихъ разстояній до неутральной оси было не менѣе соотвѣтственнаго количества для чугуннаго лежня, который они замѣняютъ.

Тѣхъ же правилъ надобно держаться, когда при чугунной балкѣ нижній лежень замѣняется весь или частью парою желѣзныхъ струнъ или затяжекъ.

369. Сплошныя желѣзныя балки. Относительно правилъ, прилагающихся къ желѣзнымъ балкамъ одинаково со всѣми другими смотрите §§ отъ 169 до 179.

Обыкновенныя и самыя употребительныя формы поперечнаго сѣченія желѣзныхъ балокъ суть тавровая, двойная тавровая, плоская съ утолщеніями по краямъ. Чер. 242 есть примѣръ послѣдней формы. О сопротивленіи этихъ формъ поперечному перелому смотрите § 163 примѣры VIII и IX; отношеніе между частями поперечнаго сѣченія для одинаковаго сопротивленія раздробленію и разрыву указано въ § 164 случаяхъ 3-мъ и 4-мъ, относящихся къ матеріаламъ, которыхъ вязкость болѣе сопротивленія раздробленію: первая означена въ формулахъ буквою f_b, второе f_a.



Чер. 422.

Плоская желѣзная балка обыкновенно разрушается тѣмъ, что сжимаемая ея часть выгибается въ сторону, потому что обыкновенно ширина лежня бываетъ очень мала сравнительно съ длиною балки, и она находится въ положеніи, сходномъ съ тонкою и длинною распоркою или стойкою (§ 158). Поэтому f_a коефиціентъ сопротивленія верхняго лежня, вообще не есть постоянное количество, но уменьшается вмѣстѣ съ тѣмъ, какъ ширина лежня, становится менѣе сравнительно съ длиною балки.

Изъ опытовъ Ферберна надъ желѣзными балками, помѣщенныхъ въ его сочиненіяхъ: On the application of iron to building purposes и Useful informations for Engineers, можно вывести слѣдующую довольно вѣрную формулу для опредѣленія этого коефиціента:

Пусть l означаетъ длину балки, b ширину сжимаемаго лежня

$$f_a = \frac{997}{1 + \frac{l^2}{5000b^2}} \quad \ldots\ldots\ldots (1.)$$

въ пудахъ на квадратный дюймъ.

Въ прилагаемой табличкѣ помѣщены коефиціенты, вычисленные по этой формулѣ, а также выводы отъ подстановленія ихъ въ уравненія 10 и 11, § 164; вязкость f_b принята вездѣ въ 1661 пудъ. A_1 есть площадь сжимаемаго; A_3 вытягиваемаго лежня; A_2 площадь ребра, h' высота балки отъ средины верхняго до средины нижняго лежня, M_0 моментъ излома въ пудодюймахъ.

	f_b	$l:b$	f_a	A_1	$M_0:h'$
I.	1661	10	977	$0.35A_2 + 1.7\ A_3$	$391A_2 + 1661A_3$
II.	1661	20	923	$0\ 4\ A_2 + 1.8\ A_3$	$400A_2 + 1661A_3$
III.	1661	30	845	$0\ 48A_2 + 1.97A_3$	$413A_2 + 1661A_3$
IV.	1661	40	755	$0.6\ A_2 + 2.2\ A_3$	$428A_2 + 1661A_3$
V.	1661	50	665	$0.75A_2 + 2.5\ A_3$	$443A_2 + 1661A_3$

Въ приложеніи къ тавровому желѣзу въ этихъ выводахъ надобно положить $A_3 = 0$.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда балка можетъ подвергаться напряженіямъ попеременно въ разныхъ направленіяхъ, сѣченіе ея должно быть одинаково вверху и внизу или $A_1 = A_3$; въ каждомъ случаѣ балка можетъ разрушиться переломомъ въ бокъ сжимаемаго лежня и f_a есть коефиціентъ перелома; выраженіе момента перелома имѣетъ тогда слѣдующую простѣйшую форму

$$M_0 = f_a h' \left(\frac{A_2}{6} + A_1 \right) \ldots\ldots (2.)$$

Разширеніе желѣза отъ тепла немногихъ болѣе разширенія чугуна т. е. 0.0012 для 80^0 Р. или 0.000015 на 1^0.

370. Балки изъ котельнаго желѣза и трубчатыя имѣютъ разныя формы въ поперечномъ сѣченіи: онѣ составляются изъ листовъ котельнаго желѣза, связанныхъ приклепанными къ нимъ желѣзными полосами разныхъ формъ; онѣ вообще равносильны балкамъ изъ тавроваго желѣза и крѣпкость ихъ опредѣляется на основаніи тѣхъ же началъ. Вотъ примѣры.

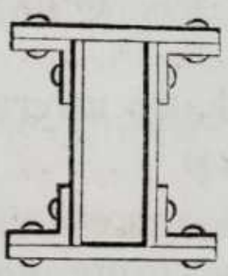
Чертежъ 243 есть разрѣзъ балки, которой ребро состоитъ изъ листа котельнаго желѣза, а лежни изъ желѣзныхъ полосъ, скрѣпленныхъ заклепками и угловымъ желѣзомъ.

Чертежъ 244 есть трубчатая балка (box beam), отличающаяся отъ предъидущей тѣмъ, что ребро ея состоитъ

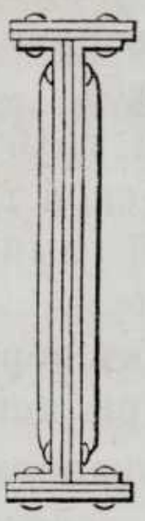
изъ двухъ листовъ. Она имѣетъ то преимущество, что шире и потому жестче въ боковыхъ направленіяхъ, а так-



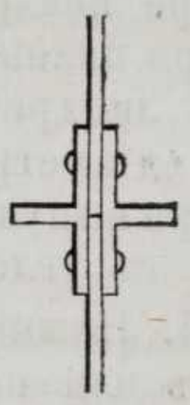
Чер. 243.



Чер. 244.



Чер. 245.



Чер. 246.

же имѣетъ большую крѣпкость у сжимаемаго лежня.

Балка чертежа 245 похожа на представленную на чертежѣ 243, но имѣетъ большіе размѣры. Лежни или пояса ея состоятъ изъ нѣсколькихъ полосъ, а отвѣсная грань изъ листовъ, поставленныхъ стоймя, въ стыкахъ эти листы укрѣплены ребрами изъ тавроваго желѣза, какъ показано на чертежѣ 246 въ планѣ.

Чтобы сдѣлать верхній лежень гораздо жестче его замѣняютъ трубою цилиндрическою или четыреугольною, какъ на чертежѣ 236, или триугольною, какъ на чертежѣ 237, которая прикрѣпляется къ высшему краю отвѣсной грани. Плоскій желѣзный листъ, составляющій верхъ этой трубы, замѣнялся иногда листами, согнутыми по дугѣ круга (чер. 238), положенными одинъ на другой и прикрѣпленными къ боковымъ гранямъ балки при помощи угловаго желѣза.

При назначеніи размѣровъ частей балки и опредѣленіи крѣпкости ея надобно слѣдовать правиламъ, изложеннымъ въ предъидущемъ параграфѣ, принимая въ соображеніе слѣдующее:

I. Разные полосы или листы, изъ которыхъ состоитъ балка, должны имѣть стыки, расположенные въ перевязку.

II. Верхній горизонтальный лежень состоитъ изъ полосъ, которыя должны имѣть совершенно плотные стыки, въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ къ оси балки, какъ сказано въ § 366 о желѣзныхъ подпорахъ. При упо-

требленіи уравненія (1.) § 369 для вычисленія коефиціента f_a перелома раздробленіемъ, надобно дѣлить отношеніе $l^2 : b^2$ въ знаменателѣ на слѣдующія числа:

При плоскомъ верхнемъ лежнѣ или треугольной трубѣ.	5.000
При квадратной трубѣ	10.000
При цилиндрической трубѣ или полуцилиндрической выпуклой къ верху; діаметромъ b	7.500
При выпукломъ къ верху отрѣзкѣ круга, съ угломъ при центрѣ 2Θ . . .	$\frac{7.500}{\sin^2\Theta}\left(l - \frac{\sin 2\Theta}{2\Theta}\right)$

III. Нижній горизонтальный лежень состоитъ изъ листовъ или полосъ, связанныхъ приклепанными къ нимъ накладками, какъ сказано въ § 364 о желѣзныхъ струнахъ; въ формулахъ § 369 и другихъ вмѣсто A_3 надобно вставлять не всю площадь лежня, а только дѣйствительную площадь, остающуюся за просверленіемъ дыръ для заклепокъ согласно правилу § 360.

Для лучшаго листоваго желѣза коефиціентъ вязкости f_b надобно считать среднимъ числомъ въ 1385 пудовъ на квадратный дюймъ. Вотъ какіе результаты даетъ таблица § 369 когда вмѣсто 1661 будетъ поставлено 1385 пудовъ:

	f_b	$l:b$	f_a	A_1	$M_0 : h'$
I.	1385	10	977	$0.21A_2 + 1.41A_3$	$299A_2 + 1385A_3$
II.	1385	20	923	$0.25A_2 + 1.5\ A_3$	$308A_2 + 1385A_3$
III.	1385	30	845	$0.32A_2 + 1.64A_3$	$321A_2 + 1385A_3$
IV.	1385	40	755	$0.41A_2 + 1.83A_3$	$336A_2 + 1385A_3$
V.	1385	50	665	$0.54A_2 + 2\ 08A_3$	$351A_2 + 1385A_3$

IV. Отвѣсная грань имѣетъ рѣдко менѣе $^3/_8$ дюйма въ толщину и, за исключеніемъ очень большихъ балокъ, этого достаточно для выдержанія сдвигающаго напряженія. Въ тѣхъ балкахъ гдѣ окажется нужнымъ придать этой грани большую крѣпость для сопротивленія сдвигу, величина сдвигающей силы должна быть расчитана по правиламъ § 161 случай IX для достаточнаго числа поперечныхъ сѣченій, а наибольшее напряженіе при предположенной толщинѣ грани по формулѣ § 168 случай VIII. Во многихъ случаяхъ однакоже достаточно предположить что отвѣсная грань подвергается всей сдвигающей силѣ, распредѣленной равномѣрно по всей площади сѣченія.

Тогда можно предположить, что сдвигающая сила у неутральной оси равна, по дѣйствію, распору и натянутости той же величины, дѣйствующихъ подъ углами въ 45^0 къ оси и что грань можетъ разрушиться выгибомъ въ бокъ; крайняя крѣпкость въ пудахъ на квадратный дюймъ дается слѣдующимъ выраженіемъ

$$\frac{997}{1 + \frac{s^2}{3000t^2}} \quad \ldots\ldots (1.)$$

здѣсь t есть толщина грани, s разстояніе, измѣряемое вдоль линіи, наклоненной къ горизонту подъ угломъ въ 45^0 между боковыми усиливающими ребрами или между лежнями, когда нѣтъ боковыхъ ребръ. Сдвигающее напряженіе дѣйствующаго груза не должно превосходить шестой доли числа, получаемаго по этой формулѣ.

V. Такъ какъ моментъ сгиба балки уменьшается отъ средины къ краямъ, а сдвигающее дѣйствіе въ томъ же направленіи растетъ, по законамъ, изложеннымъ въ § 161, то горизонтальные лежни могутъ уменьшаться въ сѣченіи отъ средины къ краямъ, а отвѣсная грань отъ краевъ къ срединѣ, такъ чтобы сопротивленіе сгибу и скалыванію измѣнялось по тѣмъ же законамъ.

VI. Подпорныя ребра по сторонамъ главной отвѣсной грани балки можно разсматривать какъ привѣсные прутья, поддерживающіе части груза, или какъ подпорки, смотря потому, подвѣшенъ ли грузъ подъ балкою или лежитъ на ней. Поперечное сѣченіе должно быть расчитано, на основаніи правилъ § 364 и 366, сообразно напряженію, которое проявляется въ ребрѣ отъ дѣйствія наибольшаго груза, который въ мостахъ на желѣзныхъ дорогахъ можетъ быть равенъ грузу, лежащему на одномъ изъ колесъ паровоза.

У опорныхъ точекъ подпорныя ребра должны быть чаще или толще для того, чтобы они были въ состояніи всѣ вмѣстѣ выдержать ту часть груза, которая передается опорной точкѣ.

Пара тавровыхъ полосъ желѣза, приложенныхъ лежнями къ бокамъ балки и склепанныхъ вмѣстѣ, образуетъ стойку, имѣющую въ поперечномъ сѣченіи крестъ (§ 366, случай IX).

Очевидно что лучшее направленіе подпорныхъ ребръ было бы наклонное подъ угломъ въ 45^0 отъ краевъ къ

серединѣ; но это затруднило бы очень работу и листамъ, изъ которыхъ составляется отвѣсная грань балки, пришлось бы давать неудобныя и сложныя фигуры.

VII. Правила, по которымъ назначаются число и размѣры заклепокъ, связывающихъ части вытягиваемаго лежня, изложены въ параграфахъ, на которыя сдѣланы ссылки въ статьѣ III.

Заклепки, связывающія составныя части отвѣсной грани балки съ подпорными ребрами должны быть въ состояніи выдержать наибольшее сдвигающее дѣйствіе груза, которому это ребро подвергается.

Сдвигающее дѣйствіе на заклепки, связывающія лежни балки съ частью отвѣсной ея грани, относится къ сдвигающему дѣйствію груза по серединѣ этой части почти какъ длина этой части къ ея высотѣ.

VIII. Для того, чтобы составная желѣзная балка могла быть совершенно пряма подъ дѣйствіемъ лежащаго на ней груза, она должна имѣть такую форму, чтобы ненагруженная была нѣсколько выпукла къ верху или имѣла выносъ равный тому прогибу, который получитъ при нагрузкѣ.

Формулы, опредѣляющія величину этого прогиба получаются подстановкою единичной величины дѣйствующей нагрузки вмѣсто f' въ уравненія (13 и 13 А) § 169.

Коефиціентъ упругости балокъ изъ котельнаго желѣза значительно меньше нежели для цѣльныхъ желѣзныхъ брусьевъ, и заключается согласно лучшимъ авторитетамъ между 443053 и 519204 или среднимъ числомъ

$$E = 485.000.$$

Уравненіе 13 А § 169, относящееся къ поперечному сѣченію равной крѣпкости, при подставкѣ $l:2$ вмѣсто c получаетъ видъ

$$v_1 = \frac{n''(f'_a + f'_b)l^2}{4Eh} \quad \ldots\ldots (2.)$$

Принимая число 6 за коефиціентъ благонадежности, мы можемъ положить съ достаточною точностью.

$$f'_a + f'_b = (f_a + f_b) : 6 = 2326 : 6 = 388.$$

При равномѣрно нагруженной балкѣ, имѣющей однообразное сѣченіе $n'' = 5 : 12$; а когда поперечное сѣченіе из-

мѣняется такъ, что балка имѣетъ вездѣ одинаковую высоту и одинаковую крѣпкость, тогда $n'' = 1:2$.

Въ послѣднемъ предположеніи имѣемъ для прогиба

$$v_1 = \frac{388}{8 \times 485000} \cdot \frac{l^2}{h} = \frac{l^2}{10000h} \quad \ldots\ldots (3.)$$

или *прогибъ есть третья пропорціональная къ высотѣ балки и сотой долѣ ея длины.*

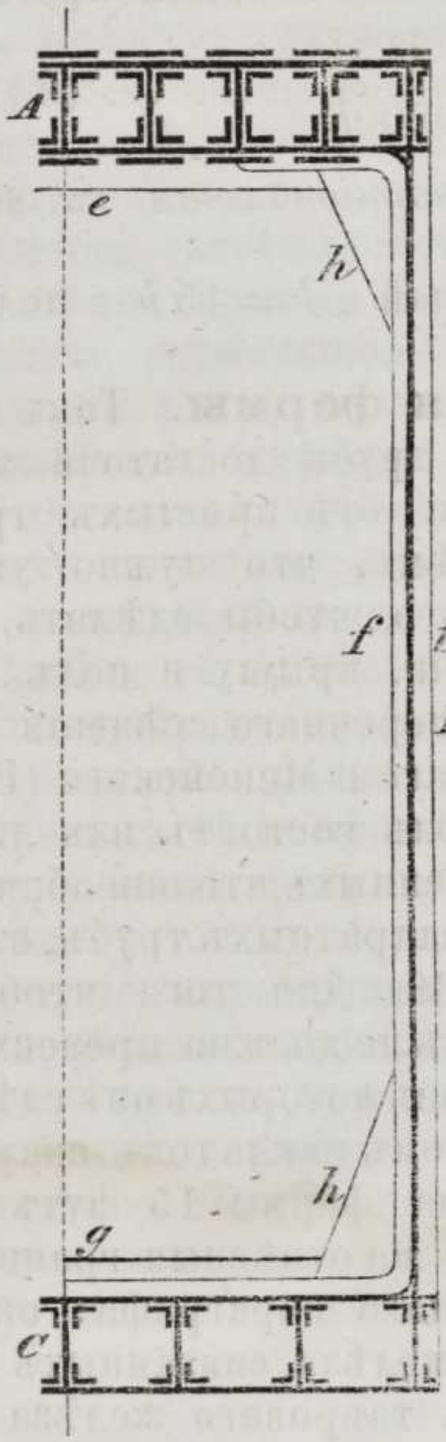
Взявши обыкновенный случай $l = 15\,h$ получимъ $v_1 = 3\,l : 2000$.

371. Большія трубчатыя фермы. Такъ называютъ пустыя внутри желѣзныя трубы достаточныхъ размѣровъ для проѣзда внутри ихъ: отъ простыхъ трубчатыхъ балокъ онѣ отличаются тѣмъ, что нужно употребить особенныя средства для того, чтобы сдѣлать жесткими верхніе и нижніе ихъ лежни, крышу и полъ.

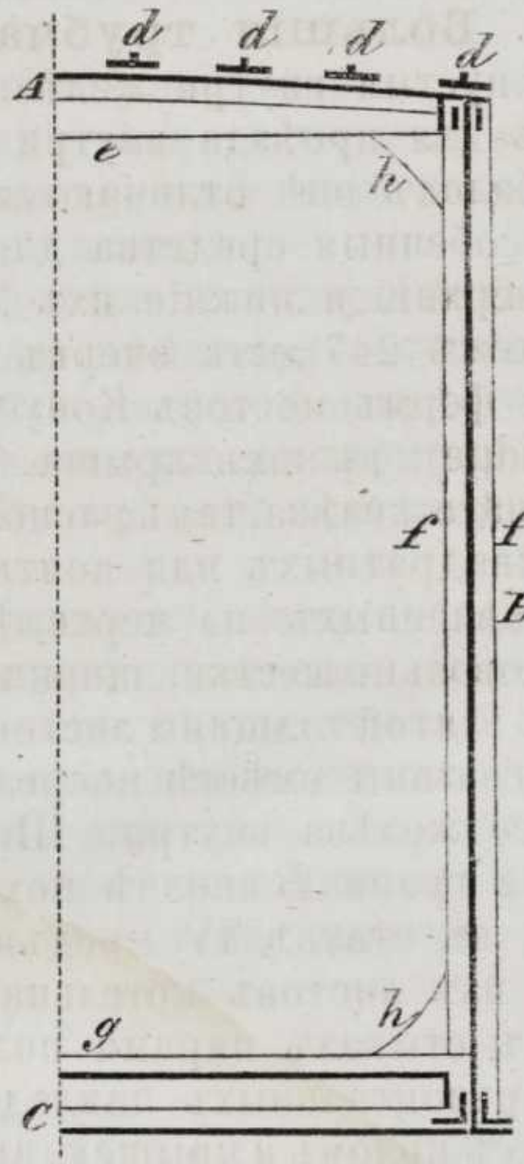
Чертежъ 247 есть очеркъ поперечнаго сѣченія трубчатыхъ фермъ мостовъ Конуейскаго и Менейскаго (Britannia bridge); въ нихъ крыша и полъ состоятъ изъ листовъ котельнаго желѣза, такъ расположенныхъ, что они образуютъ рядъ квадратныхъ или почти квадратныхъ трубъ, въ родѣ представленныхъ на чертежѣ 236. Для того чтобъ онѣ были довольно жестки, ширина ихъ не должна превосходить 30 разъ взятой толщины листовъ, изъ которыхъ онѣ сдѣланы. Трубы связаны вмѣстѣ посредствомъ накладокъ снаружи и угловаго желѣза внутри. Ширина фермы 15 футъ. Двѣ боковыя грани B вполнѣ похожи на отвѣсныя грани, описанныя въ статьѣ IV предъидущаго параграфа: онѣ состоятъ изъ листовъ котельнаго желѣза, связанныхъ въ отвѣсныхъ стыкахъ парами полосъ тавроваго желѣза f и f, а въ горизонтальныхъ накладками. Соединенію отвѣсныхъ граней съ поломъ и крышею придана боковая жесткость посредствомъ наугольниковъ h, h' и горизонтальнымъ продолженіемъ полосъ тавроваго желѣза. Крыша и полъ усилены еще поперечными ребрами e и g, которыхъ приходится по одному на каждые три отвѣсныхъ подпорныхъ ребра.

Чертежъ 248 представляетъ половину большой трубчатой фермы шириною 16 футъ: въ ней полъ и крыша не трубчатыя, а состоятъ изъ листовъ желѣза, наложенныхъ другъ на друга и укрѣпленныхъ выступающими ребрами; такъ устроенъ мостъ Викторія черезъ рѣку св. Лаврентія въ Америкѣ. A есть крыша, она нѣсколько выпукла, радіусъ

кривизны ея почти въ шесть разъ болѣе ширины фермы, она усилена продольными полосами тавроваго желѣза d,d,d,d,



Чер. 247.

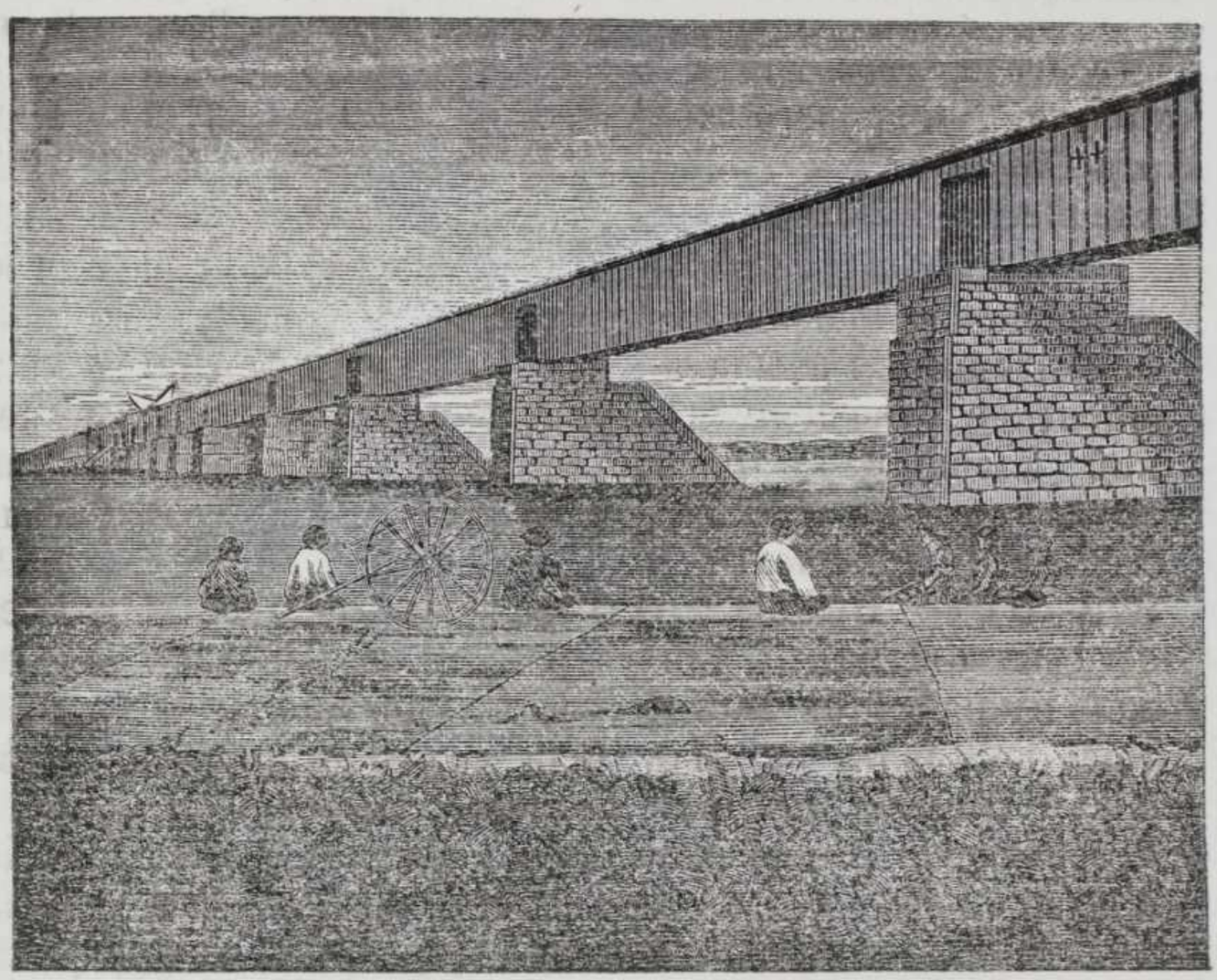


Чер. 248.

отстоящими на 2 фута 3 дюйма одна отъ другой и поперечными полосами e, положенными черезъ каждые 7 футъ.

B есть боковая грань съ усиливающими ее ребрами f изъ парныхъ полосъ тавроваго желѣза, поставленныхъ въ разстоянія около $3^1/2$ футъ другъ отъ друга. C есть полъ также изъ листовъ котельнаго желѣза, связанныхъ при помощи накладокъ; онъ сдѣланъ жесткимъ, на сколько это нужно, приклепанными къ нему поперечниками g изъ двойнаго тавроваго желѣза, расположенными на разстояніи 7

фугъ другъ отъ друга, h, h суть наугольники, связывающіе бока съ крышею и поломъ



Чер. 249. Мостъ Викторія черезъ рѣку Св. Лаврентія у Монреаля.

Все что сказано въ предъидущемъ параграфѣ объ устройствѣ и крѣпкости трубчатыхъ балокъ прилагается къ большимъ трубчатымъ фермамъ. Прилагая къ нимъ правила VI статьи этого параграфа относительно крѣпкости и жесткости подпорныхъ ребръ у точекъ опоры, окажется нужнымъ значительно ихъ усилить и дать имъ двойную тавровую форму, подобно балкамъ и сдѣлать ихъ къ верху тоньше.

Чтобы показать относительную величину составныхъ частей большой трубчатой фермы, мы приводимъ здѣсь пропорціи ихъ въ Конуейскомъ мосту.

Количество желѣза въ полу и крышѣ почти одинаковы: хотя крыша, подверженная сжиманію имѣетъ дѣйствительную площадь бо̀льшую нежели полъ, въ которомъ дѣйствуетъ натянутость, но общая площадь сѣченія пола увеличена тѣмъ, что связывающія накладки имѣютъ боль-

шіе размѣры. Обѣ боковыя грани вмѣстѣ содержатъ почти тоже количество желѣза, что и крыша.

Распредѣленіе желѣза въ этихъ частяхъ слѣдующее:

	Крыша.	Бока.	Полъ.
Листоваго желѣза	61.0	51.3	61.1
Угловаго и тавроваго желѣза. . .	29.3	37.2	14.9
Накладки	3.8	5.4	19.7
Заклепки	5.9	6.1	4.3
	100	100	100
Процентное отношеніе дѣйствительной площади къ общей	87.7	43.0	72.2
Процентное отношеніе дѣйствительной площади къ общей за вычетомъ одной седьмой доли на дыры для заклепокъ.		безъ вычета дыръ для заклепокъ.	61.9

372. Устройство трубчатыхъ фермъ. Непрерывныя фермы. Для устройства трубчатыхъ фермъ можно избрать два способа: ферму построить на землѣ и потомъ поставить на мѣсто или можно строить ее на мѣстѣ при помощи лѣсовъ. Первый способъ употребленъ при возведеніи Менейскаго моста; каждая труба его была приведена на судахъ къ тому мѣсту, которое она должна была занимать и поставлена между устоями, въ которыхъ оставлены были пустоты для принятія концовъ трубъ. Трубу поднимали потомъ цѣпями, прикрѣпленными къ поперечному брусу поршня гидравлическаго пресса, помѣщеннаго на верху устоя; высота подъема въ одинъ разъ была въ 6 футъ, равная длинѣ хода поршня. Пустота въ устоѣ подъ поднятою трубою закладывалась каменною кладкою, на которую опиралась труба во время спуска поршня; потомъ поднимали ее на новые шесть футъ и подводили кладку. Мостъ Викторія построенъ былъ на лѣсахъ, всѣ части его были изготовлены, прилажены и перенумерованы въ Англіи.

Употребленіе лѣсовъ, когда оно возможно, есть легчайшій и менѣе убыточный способъ, особливо при большихъ мостахъ; на Менейскомъ мосту нельзя было къ нимъ прибѣгнуть, потому что они заградили бы путь судамъ.

Чтобы придать непрерывность желѣзной фермѣ, состоящей изъ нѣсколькихъ пролетовъ, употребляли слѣдующій способъ: когда на быкъ поставлены двѣ желѣзныя фермы, принадлежащія двумъ разнымъ пролетамъ, тогда каждая

изъ нихъ сгибается отъ собственнаго вѣса и концевыя ихъ грани, которыя должны бы по чертежу совмѣщаться, надѣлѣ расходятся, составляя уголъ, обращенный отверстіемъ къ верху. Дальній конецъ одной изъ фермъ надобно поднять посредствомъ гидравлическаго пресса, домкратовъ или другихъ машинъ до такой высоты, чтобы плоскости стыка пришли въ прикосновеніе, затѣмъ ихъ связываютъ накладками съ болтами или заклепками и опускаютъ поднятый конецъ фермы на свое мѣсто. Тоже самое дѣлается на каждомъ быкѣ гдѣ сходятся фермы.

О вліяніи непрерывности бруса или фермы, опирающейся на нѣсколько устоевъ, на крѣпкость и жесткость ихъ сказано въ § 178, особенно смотрите 2-й способъ.

Непрерывность балки не должна превосходить нѣкотораго предѣла, зависящаго отъ степени разширенія металла отъ тепла. Желѣзная ферма можетъ быть укрѣплена въ одной только точкѣ опоры, во всѣхъ остальныхъ она должна быть помѣщена на каткахъ или салазкахъ; укрѣпленіе лучше всего сдѣлать по срединѣ фермы. Изъ до сихъ поръ устроенныхъ непрерывныхъ фермъ самыя длинныя принадлежатъ Менейскому мосту, онѣ имѣютъ 1511 футъ длины и поддержаны тремя быками и двумя устоями, такъ что покрываютъ четыре пролета; укрѣпленіе сдѣлано на среднемъ быкѣ, на другихъ быкахъ и устояхъ находятся катки, такъ что измѣняющаяся отъ температуры длина металла есть $755\frac{1}{2}$ футъ, величина измѣненія при переходѣ отъ -20^0 до $+30^0$ можетъ быть около полуфута.

Изъ сказаннаго о томъ, какъ связываются фермы разныхъ пролетовъ въ одну непрерывную ферму, видно что до связыванія каждый пролетъ сгибается и слѣдовательно вся его крыша подвергается сжиманію. Послѣ соединенія фермъ часть крыши между точками перегиба подвергается вытягиванію, а соотвѣтственная часть пола сжиманію; точки перегиба опредѣляются уравненіемъ (10.) § 178. Поэтому какъ крыша, такъ и полъ фермы въ этихъ мостахъ должны быть такъ устроены, чтобы могли выдерживать сжиманіе и вытягиваніе: таково устройство фермъ Менейскаго моста, въ которыхъ полъ и крыша трубчатыя.

Иногда выгодно сдѣлать ферму несовершенно непрерывною надъ опорною точкою и вотъ по какой причинѣ: по 2-му способу § 178 уравненія (6 и 7) даютъ слѣдую-

щія величины моментовъ сгиба, если w означаетъ постоянный, а w' временный грузъ на погонную единицу длины фермы,

$$\text{надъ быкомъ} — M_1 = \frac{2w + w'}{24} l^2 \ldots\ldots (1.)$$

$$\text{по срединѣ пролета } M_0 = \frac{w + 2w'}{24} l^2 \ldots\ldots\ldots (2.)$$

$$\text{сумма ихъ } \frac{w + w'}{8} l^2 \ldots\ldots (3.)$$

есть моментъ сгиба отдѣльной фермы по срединѣ ея; слѣдовательно связываніе фермъ переноситъ съ середины фермы на опорную точку часть момента сгиба, данную выраженіемъ (1.) Въ большихъ трубчатыхъ мостахъ выраженіе (1.) гораздо болѣе (2.), потому что v' не велико въ сравненіи съ v; но относительно крѣпкости матеріала, то расположеніе будетъ выгоднѣе, при которомъ моменты сгиба по срединѣ пролетовъ и на быкахъ будутъ одинаковы, и каждый изъ нихъ равенъ половинѣ величины (3.) или

$$\frac{w + w'}{16} l^2 \ldots\ldots (4.)$$

Чтобы достигнуть этого результата связь дѣлается несовершенно непрерывною слѣдующимъ образомъ.

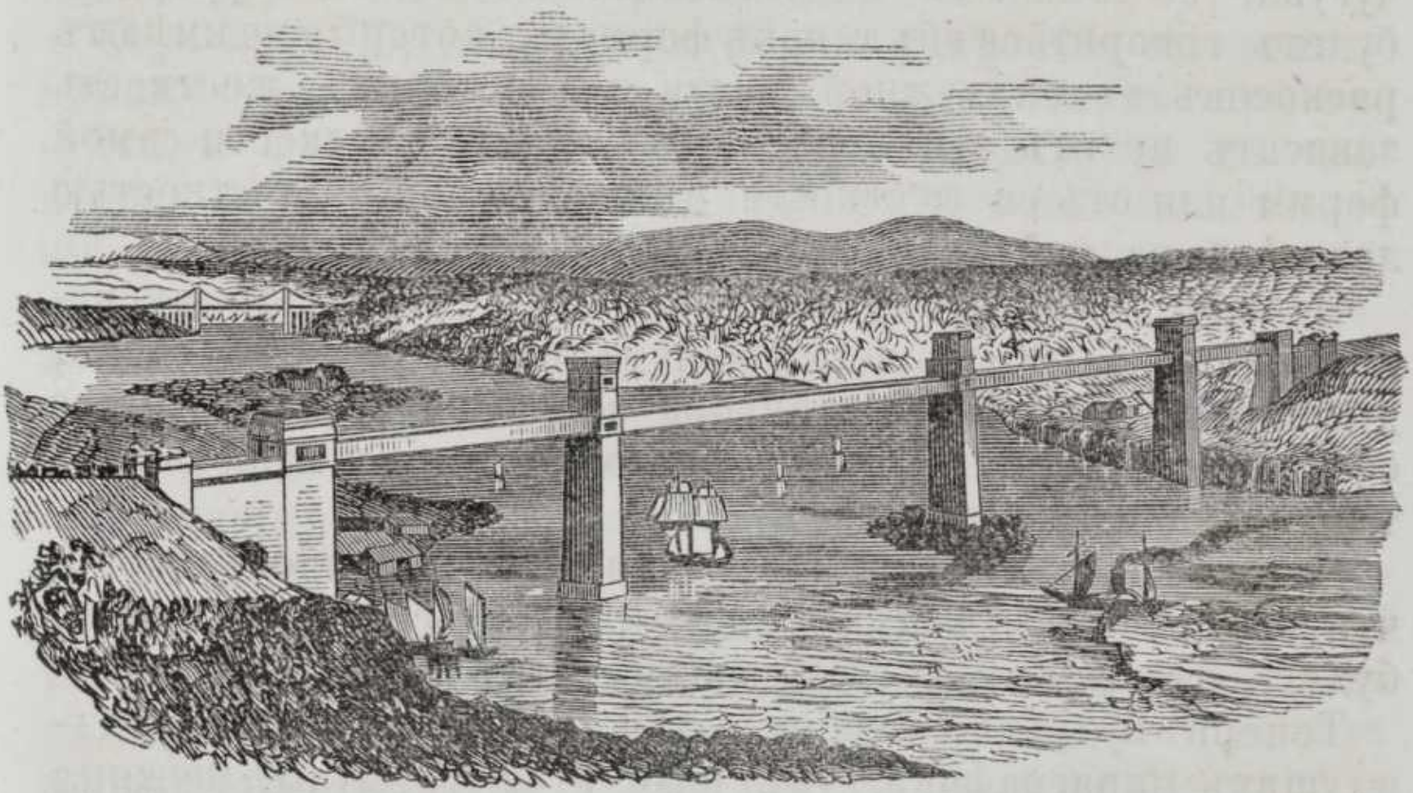
Замѣтьте уголъ Θ, который составляютъ между собою расходящіяся плоскости связываемыхъ фермъ на быкѣ и потомъ вычислите величину угла

$$\frac{w - w'}{4w + 2w'} \Theta \ldots\ldots (5.)$$

Приготовьте затѣмъ клинъ, котораго грани составляли бы этотъ уголъ; вставьте клинъ между смыкаемыми фермами, поднимите дальній конецъ фермы до плотнаго прикосновенія клина съ обѣими фермами и свяжите накладками съ болтами или заклепками; отверстіе между отдѣльными фермами уменьшено будетъ въ отношеніи выраженія (4.) къ (1.)

Когда временный грузъ сравнительно съ постояннымъ такъ малъ, что имъ можно пренебречь, тогда выраженіе (5.) обращается въ $\Theta : 4$, уголъ между фермами уменьшается

на три четверти того количества, на которое нужно было бы его поднять, если бы требовалась совершенная непрерывность фермы. Этотъ способъ употребленъ при соединеніи трубъ на среднемъ быкѣ Менейскаго моста.



Чер. 250. Трубчатый мостъ чрезъ Менейскій проливъ.

373. Дѣйствіе вѣтра на трубчатые мосты. Давленіе вѣтра на боковую грань трубы можно разсматривать, какъ равномѣрно разпредѣленный грузъ, выгибающій ферму въ бокъ, моменты производимаго сгиба и наибольшаго напряженія суть слѣдующіе:

Означимъ w'' давленіе вѣтра на единицу длины трубы; оно получается умноженіемъ высоты балки на давленіе вѣтра соотвѣтствующее единицѣ площади; l отверстіе; b ширину трубы между срединами боковыхъ граней, A_1 и A_3 площади крыши и пола, A_2 соединенную площадь боковъ

Наибольшій моментъ сгиба есть:

По срединѣ отдѣльнаго пролета $$M = \frac{w'' \, l^2}{8} \ldots\ldots (1.)$$

На быкѣ при непрерывности фермы $$M = \frac{w'' \, l^2}{12} \ldots\ldots (2.)$$

Наибольшее напряженіе $$p_1 = M_1 : b \left(\frac{A_2}{2} + \frac{A_1 + A_3}{6} \right) (3.)$$

Наибольшее давленіе вѣтра въ Англіи, по наблюденію Николя на Гласгоуской обсерваторіи есть 1,523 пуда на квадратный футъ или 0.010577 пуда на квадратный дюймъ.

374. Дуговыя фермы дѣлаются обыкновенно изъ чугуна, но бываютъ и желѣзныя. Въ этомъ параграфѣ будетъ говориться объ такихъ фермахъ, которыя не имѣютъ раскосовъ въ наддужной части или которыхъ жесткость зависитъ не отъ этихъ раскосовъ, а отъ жесткости самой фермы или отъ ея жесткости въ соединеніи съ жесткостью лежащей на ней балки.

Полная теорія дѣйствія груза на дуговую ферму изложена въ § 180, за исключеніемъ нѣкоторыхъ случаевъ, дошедшихъ до свѣдѣнія автора во время печатанія этаго сочиненія и составляющихъ предметъ этаго и нѣкоторыхъ послѣдующихъ параграфовъ.

Случаи, въ которыхъ дуга арки имѣетъ такіе раскосы, что объясненіе ихъ дѣйствія требуетъ особенной теоріи, будутъ изложены въ слѣдующемъ отдѣлѣ.

Теперь будутъ сдѣланы ссылки на тѣ части предъидущихъ параграфовъ, гдѣ находятся формулы, нужныя для вычисленія крѣпкости дуговыхъ фермъ.

Обыкновенная форма дуговой фермы въ поперечномъ сѣченіи есть двойная тавровая или плоская съ закраинами вверху и внизу, толщина отвѣсной грани вездѣ одинакова или почти одинакова. Высота, означенная въ формулахъ буквою h, получается не вычисленіемъ, но рядомъ приближеній или по эмпирическому правилу, которое назначаетъ ее между 1 — 40 и 1 — 60-й долей пролета. Отношеніе q, входящее въ формулы крѣпкости и жесткости, вычисляется для такого сѣченія посредствомъ форлулы § 179 случай XI.

Неутральная ось дуговой фермы должна быть парабола, которую можно замѣнить безъ значительнаго ущерба устойчивости дугою круга при маломъ подъемѣ сравнительно съ шириною отверстія.

Фермѣ можно придать равномѣрную жесткость тѣмъ, что увеличивать площадь ея поперечнаго сѣченія отъ ключа къ пятамъ пропорціонально секансу угла наклоненія, какъ объяснено въ § 180 задачѣ второй. Когда ферма не должна имѣть равномѣрной жесткости, но одинакую площадь сѣченія, то вычисленіе по формуламъ требуетъ поправки; это вычисленіе даетъ поперечное сѣченіе у ключа

такой фермы, которая имѣетъ требуемую крѣпкость и равномѣрную жесткость; ее надобно увеличить въ отношеніи секанса угла наклоненія неутральной оси у пятъ къ радіусу и тогда получится величина площади, которую должна имѣть ферма на всемъ протяженіи.

Случай I. Когда дуговая ферма упирается въ неподвижные устои, какъ это обыкновенно бываетъ при чугунныхъ фермахъ, то этотъ случай подходитъ къ четвертой задачѣ § 180; первый пріемъ состоитъ въ вычисленіи количества B посредствомъ уравненія (30.)

Если бы устои могли податься отъ дѣйствія нагрузки, то случай относился бы къ пятой задачѣ и B надобно было бы опредѣлить по уравненію (40), при чемъ предварительно надобно задаться площадью A.

Дѣйствіе измѣненій температуры принимается въ расчетъ слѣдующимъ образомъ: пусть t^0 есть наибольшее отклоненіе температуры отъ той, при которой строится арка; E коефиціентъ упругости матеріала; p_0 допускаемая средняя единичная величина распора у ключа арки; e коефиціентъ расширѣнія, который можно считать въ 0.000014 на 1^0 Р. При вычисленіи величины B по уравненіямъ (30 или 40) надобно ввести въ выраженіе между скобками членъ

$$\pm \frac{e\ t\ \mathrm{E}}{p_0} \quad \ldots\ldots \quad (1.)$$

знакъ — ставится тогда, когда t означаетъ возвышеніе температуры.

Средняя величина p_0 напряженія можетъ быть неизвѣстна; въ этомъ случаѣ надобно произвести изчисленіе горизонтальнаго распора и площади сѣченія, не принимая въ расчетъ измѣненій отъ температуры и тогда получится приблизительная величина p_0.

Когда B опредѣлено, тогда слѣдующій пріемъ будетъ состоять въ изчисленіи по уравненіямъ (36.) отношенія r_1 и r_1' къ цѣлому тѣхъ частей пролетовъ, которыя должны быть временно нагружены для того, чтобы распоръ и натянутость достигли своихъ наибольшихъ величинъ.

Если бы площадь сѣченія была дана, то наибольшій распоръ p_1 и найбольшую натянутость надобно было бы вычислить по уравненіямъ (37 и 38).

Если площадь сѣченія нужно опредѣлить вычисленіемъ,

то надобно изъ этихъ уравненій опредѣлить величины A; они обратятся въ формулы для вычисленія площади сѣченія, когда наибольшій дѣйствующій распоръ или натянутость будутъ вставлены вмѣсто p_1 и p'_1; и большая изъ полученныхъ величинъ A должна быть принята за площадь сѣченія у вершины арки однообразной жесткости

Чтобы найти полный горизонтальный распоръ H при наибольшемъ напряженіи, надобно употребить уравненіе (31); количество p_0 въ выраженіи (1) этого параграфа имѣетъ величиною $H : A_1$.

Наибольшій горизонтальный распоръ опредѣляется при предположеніи $r = 1$.

Приблизительныя формулы (37 А, 38 А, 31 В, 33 В, 37 В, 39 В) § 180 могутъ быть употреблены въ указанныхъ тамъ случаяхъ.

Случай 2. Когда дуговая арка связана съ горизонтальной балкой или фермой, то это относится къ задачѣ восьмой § 180.

Случай 3. Дуговая ферма можетъ быть связана въ пятахъ, т. е. концы ея могутъ быть скруглены и помѣщены въ цилиндрическихъ ложахъ, въ родѣ подшипниковъ. Случай этотъ относится къ задачѣ шестой § 180 и первый пріемъ долженъ состоять въ вычисленіи величины C по уравненію (51). Чтобы принять въ расчетъ вліяніе температуры надобно ввести въ скобки выраженіе (1) этого параграфа.

Наибольшее напряженіе проявляется почти тогда, когда половина пролета нагружена. При этомъ условіи: чтобы опредѣлить весь горизонтальный распоръ, употребите уравненіе (52 А) § 180; чтобы найти наибольшій моментъ M' сгиба, употребите уравненіе (57 А); чтобы найти наибольшую величину напряженія по данному поперечному сѣченію, употребите уравненіе (58); наконецъ, чтобы опредѣлить площадь сѣченія у вершины арки, приравняйте p_1 наибольшему безопасному распору и возьмите формулу

$$A_1 = \frac{1}{p_1}\left(\frac{M'}{qh} + H\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.)$$

Чтобы найти найбольшій прогибъ въ случаяхъ 1, 2 и 3 смотрите задачу седьмую § 180.

Случай 4. Арка, имѣющая вязки въ вершинѣ и пя-

тахъ, предложена Мантіономъ (Annales des ponts et chaussées 1861) но нигдѣ употреблена еще не была. Этотъ способъ постройки имѣлъ бы ту выгоду что устранилъ бы разомъ вліяніе перемѣнъ температуры и подвижности устоевъ.

Формулы для опредѣленія наибольшаго напряженія въ этомъ случаѣ, выводятся изъ формулъ задачи шестой § 180 при предположеніи $C = o$; и вотъ онѣ:

Пусть l означаетъ ширину отверстія, k подъемъ нейтральной оси арки, w_0 постоянный грузъ на погонную единицу длины, w временный грузъ на томъ же пространствѣ.

Наибольшее напряженіе бываетъ тогда, когда половина пролета обременена временнымъ грузомъ; при этомъ полный горизонтальный распоръ будетъ

$$H = \frac{l^2}{8k}\left(w_0 + \frac{w}{2}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (3.)$$

Наибольшій моментъ сгиба, дѣйствующій внизъ въ нагруженной и вверхъ въ ненагруженной части арки, есть

$$M' = \frac{l^2 w}{64} \ldots\ldots\ldots\ldots (4.)$$

Наибольшій распоръ проявляется у внѣшняго ребра нагруженной и внутренняго ребра не нагруженной части арки и имѣетъ слѣдующую величину

$$p_1 = \frac{1}{A_1}\left(\frac{M'}{qh} + H\right) = \frac{l_2}{8A_1}\left\{\frac{w}{8qh} + \frac{1}{k}\left(w_0 + \frac{w}{2}\right)\right\} \ldots (5.)$$

а наибольшая натянутость, если она есть, бываетъ у внутренняго ребра нагруженной и внѣшняго ребра ненагруженной арки и имѣетъ величину

$$p'_1 = \frac{1}{A_1}\left(\frac{M_1}{qh} - H\right) = \frac{l^2}{8A_1}\left\{\frac{w}{8qh} - \frac{1}{k}\left(w_0 + \frac{w}{2}\right)\right\} \ldots (6.)$$

Для сдѣланія отношенія толщины арки h къ ея подъему k такимъ, чтобы наибольшая натянутость имѣла данное отношеніе къ наибольшему распору надобно положить

$$\frac{qh}{k} = \frac{w}{8w_0 + 4w} \frac{p_1 - p'_1}{p_1 + p'_1} \quad \ldots \ldots (7.)$$

Наибольшій полный горизонтальный распоръ бываетъ при нагруженіи арки по всей ея длины, и величина его есть

$$H_1 = \frac{l^2}{8k} (w_0 + w) \quad \ldots \ldots \ldots (8.)$$

Во многихъ старыхъ чугунныхъ мостахъ арка состоитъ изъ пустыхъ внутри ящиковъ, безъ дна и крышки, отлитыхъ на подобіе клиньевъ каменнаго свода: такое устройство не хорошо, какъ въ отношеніи крѣпости, такъ и устойчивости. Чугунные мосты новой постройки имѣютъ небольшое число фермъ, составленныхъ изъ возможно меньшаго числа плоскихъ штукъ, прилегающихъ плотно другъ къ другу въ плоскостяхъ, нормальныхъ къ внутренней направляющей, и связанныхъ болтами, которые проходятъ сквозь закраины.

Фермы малой длины состоятъ изъ двухъ штукъ, связанныхъ въ ключѣ; въ Соутуаркскомъ мосту, составныя части фермы имѣютъ 20 футъ длины и упираются не одна въ другую, а въ поперечныя доски, которыя связываютъ между собою всѣ фермы моста: болты проходятъ сквозь закраины штукъ, составляющихъ ферму и сквозь поперечныя доски.

Въ новомъ Уестминстерскомъ мосту каждая ферма составлена изъ пяти частей, средняя изъ нихъ желѣзная, а крайнія чугунныя.

О желѣзныхъ арочныхъ фермахъ будетъ говорено въ слѣдующемъ отдѣлѣ.

ОТДѢЛЪ IV. ЖЕЛѢЗНЫЯ НАСТИЛКИ, СТРОПИЛА И МОСТЫ.

375. Желѣзныя настилки. Полъ, въ которомъ деревянная настилка поддержана желѣзными балками и поперечинами, не требуетъ особенныхъ правилъ для устройства, кромѣ указанныхъ въ § 336; надобно только принять въ расчетъ матеріалъ, изъ котораго сдѣланы поперечины. Тамъ же говорится и о грузѣ, который настилка должна выдерживать. Объ разпредѣленіи по балкамъ груза желѣзнодорожнаго моста сказано въ § 341.

Желѣзо можетъ служить для настилокъ въ разныхъ видахъ.

I. *Рельсъ Барлоу* (чер. 230) очень хорошъ для настилокъ, поддерживающихъ большіе грузы; смотрите § 366 примѣръ XII. При относительныхъ размѣрахъ, указанныхъ въ этомъ примѣрѣ, т. е. когда площадь сѣченія лежня равна суммѣ площадей кривыхъ боковъ, умноженной на 0.273, рельсъ этотъ имѣетъ слѣдующія свойства:

Пусть R есть радіусъ кривыхъ боковъ, величиною въ четверть окружности, онъ считается до средины толщины, t толщина.

Площадь поперечнаго сѣченія почти равна $4\,Rt$.

Неутральная ось находится почти на срединѣ высоты, а разрушающій моментъ есть почти

$$\frac{8}{7} f_a\, t\mathrm{R}^2 \ldots\ldots\ldots (1.)$$

здѣсь f_a, есть коефиціентъ перелома раздробленіемъ или вспучиваніемъ лежня, онъ заключается вѣроятно между 831 и 969 пудовъ на квадратный дюймъ.

II. *Волнистое желѣзо* очень хорошо при малыхъ грузахъ нужно только листы такъ расположить, чтобы сгибающее дѣйствіе груза происходило въ плоскости, параллельной гребнямъ и жолобамъ. Желѣзныя полосы или накладки должны быть прикрѣплены поперегъ гребней для того, чтобы желѣзо не выпрямилось; онѣ могутъ быть помѣщаемы на разстояніяхъ вдвое большихъ ширины волны.

Пусть b означаетъ ширину листа волнистаго желѣза, t его толщину, h возвышеніе вершины гребня надъ дномъ жолоба; моментъ перелома есть приблизительно

$$\frac{4}{15} f_a\, hbt \ldots\ldots\ldots (2.)$$

гдѣ f_a, есть коефиціентъ перелома вспучиваніемъ сжимаемой стороны.

III. *Моментъ сгиба листа.* Когда прямоугольный листъ желѣза поддержанъ у двухъ его параллельныхъ между собою краевъ, то моментъ сгиба, производимаго грузомъ на немъ лежащимъ, тотъ же что и балки, при тойже величинѣ пролета.

Когда прямоугольный листъ поддержанъ балками и поперечинами у всѣхъ четырехъ краевъ, посредствомъ ба-

локъ и поперечинъ, то моментъ сгиба уменьшается. Въ квадратномъ листѣ онъ одинаковъ въ обѣихъ плоскостяхъ, параллельныхъ его краямъ; при продолговатой формѣ листа наибольшій моментъ сгиба бываетъ въ плоскости поперечной или по направленію наименьшаго измѣренія, такъ что листъ можетъ разорваться вдоль.

Слѣдующія формулы выводятся на основаніи теоріи, которая только приблизительно вѣрна, но можно считать, что погрѣшности практически не значительны.

Пусть W означаетъ полный грузъ, l длину листа, b его ширину, M наибольшій моментъ сгиба.

Случай I. Квадратная доска, равномѣрно нагруженная

$$M = \frac{Wb}{16} \quad \ldots\ldots \quad (3.)$$

Случай II. Квадратная доска, грузъ сосредоточенъ въ серединѣ.

$$M = \frac{3Wb}{16} \quad \ldots\ldots \quad (4.)$$

Случай III. Продолговатая доска, грузъ равномѣрно разпредѣленъ

$$M = \frac{Wl^4b}{8\,(l^4 + b^4)} \quad \ldots \quad (5.)$$

Случай IV. Продолговатая доска, грузъ сосредоточенъ въ серединѣ, длина l менѣе $1.19\,b$

$$M = \frac{3\,Wl^4b}{8\,(l^4 + b^4)} \quad \ldots \quad (6.)$$

Случай V. Продолговатая доска, грузъ сосредоточенъ въ серединѣ, длина l равна или болѣе $1.19\,b$

$$M = \frac{Wb}{4} \quad \ldots\ldots \quad (7.)$$

тотъ же, что для листа, поддержаннаго только у двухъ краевъ.

Случай VI. Круглый листъ діаметромъ b поддержанный по окружности, грузъ равномѣрно разпредѣленъ.

$$M = \frac{Wb}{6\pi} = 0.053\,W\,b. \quad \ldots\ldots$$

Случай VII. Круглый листъ, грузъ сосредоточенъ по серединѣ

$$M = \frac{Wb}{2\pi} = 0.159Wb \quad \ldots\ldots \text{(9.)}$$

IV. *Чугунныя плиты.* Моментъ перелома плиты долженъ быть въ нѣсколько разъ болѣе момента сгиба, напримѣръ въ шесть разъ, соотвѣтственно коефиціенту благонадежности. Плиты эти надобно усиливать ребрами или выступами съ верхней стороны и тогда моментъ сопротивленія можно расчитывать, какъ для жолобчатой балки или имѣющей форму тавровую § 367 и 163.

V. *Выпуклые желѣзные листы*, изобрѣтенные Г. Малле, бываютъ обыкновенно квадратные или продолговатые, средина ихъ выпуклая, а у краевъ есть плоская рамка (fillet): это лучшая форма желѣзныхъ листовъ для настилокъ. Ихъ всегда кладутъ такъ, чтобы выпуклая часть подвергалась сжиманію, а рамка вытягиванію; они всегда разрушаются раздробленіемъ или вспучиваніемъ выпуклой части.

Пусть l означаетъ длину листа по тому направленію, по которому согласно статьѣ III проявляется наибольшій моментъ сгиба; h стрѣлу кривизны у центра листа, t толщину листа; всѣ размѣры эти выражены въ дюймахъ. Моментъ сопротивленія будетъ

$$\frac{4}{15} f_a lht \quad \ldots\ldots \text{(10.)}$$

f_a есть коефиціентъ перелома раздробленіемъ или вспучиваніемъ у центра или самой выпуклой части листа. Изъ публикованныхъ изобрѣтателемъ опытовъ видно, что для укрѣпленнаго по всѣмъ краямъ квадратнаго листа 36 дюймовъ въ сторонѣ, включая рамку шириною 2 дюйма, при стрѣлѣ кривизны въ 1.75 дюйма и толщинѣ матеріала 0.25 дюйма, разрушающій грузъ, разпредѣленный по всему листу, есть 1116.5 пуда.

Вставляя всѣ эти числа въ уравненія (3 и 10), получимъ

$f_a = 598$ пудовъ на квадратный дюймъ.

Вѣроятно этотъ коефиціентъ, подобно коефиціенту сопротивленія желѣзныхъ подпоръ раздробленію (§ 366 уравненіе (1)) измѣняется вмѣстѣ съ отношеніемъ толщины листа

къ его ширинѣ и достигаетъ наибольшей величины въ 997 пудовъ; но нѣтъ еще достаточнаго числа опытовъ для вывода точныхъ законовъ этого измѣненія. Судя по опубликованной изобрѣтателемъ таблицѣ безопаснымъ нагрузокъ, для квадратныхъ листовъ 3 футъ въ сторонѣ, нагрузки эти измѣняются пропорціонально квадрату толщины листовъ; изъ этого можно заключить, что коефиціентъ f_a измѣняется пропорціонально толщинѣ листа, для листовъ одинакой ширины, при пропорціональныхъ толщинахъ въ предѣлахъ 0.048 до 0.375 дюймовъ, помѣщенныхъ въ таблицѣ. Если принять за коефиціентъ благонадежности для постоянной нагрузки 4, а для временной 6, то для квадратнаго листа 3 футъ въ сторонѣ, 0.25 дюйма толщины, 1.75 дюйма стрѣлы выпуклости, безопасная постоянная нагрузка будетъ 279 пудовъ, а временная 186 пудовъ. Выпуклые желѣзные листы употребленные Г. Пажемъ для половой настилки новаго Уестминстерскаго моста имѣютъ 84 дюйма длины и 36 ширины, при толщинѣ 0.25 дюйма и стрѣлѣ выпуклости 3.5 дюйма; они выдерживаютъ 1054.5 пуда по срединѣ безъ всякаго поврежденія. Это соотвѣтствуетъ распору 496.22 пуда на квадратный дюймъ въ выпуклой части.

Квадратная форма листовъ, поддержаныхъ и укрѣпленныхъ по всѣмъ краямъ, есть самая лучшая относительно крѣпкости.

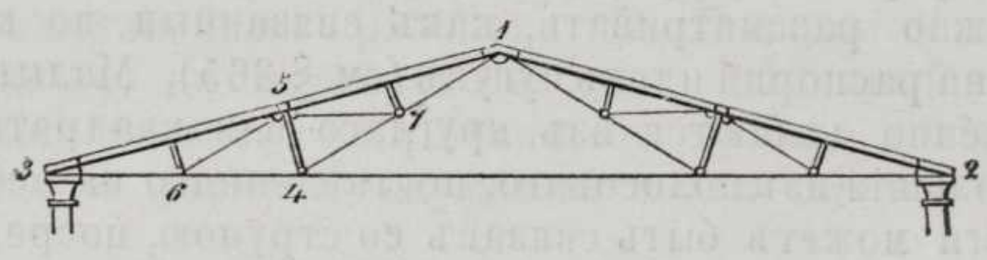
376. Желѣзныя крыши могутъ быть или всѣ изъ желѣза или стропила могутъ быть желѣзныя, а кровля изъ другаго матеріала. Объ устройствѣ и вѣсѣ кровель изъ разныхъ матеріаловъ говорено было въ § 337; къ описаннымъ тамъ кровлямъ можно прибавить кровли изъ выпуклыхъ желѣзныхъ листовъ, подобныхъ тѣмъ, объ которыхъ говорилось въ предъидущемъ параграфѣ; толщина ихъ для этого употребленія можетъ быть отъ 1—20-й до 1—10-й доли дюйма.

Желѣзныя стропила состоятъ изъ частей, подобныхъ частямъ деревяннаго стропила (см. § 338 и 339); при желѣзной кровлѣ на стропильныя ноги кладется обрѣшотка изъ полосъ тавроваго или угловаго желѣза. Стропила ставятся на равныхъ разстояніяхъ отъ 2 футъ 6 дюймовъ, до 7 футъ; среднимъ числомъ въ 5 футовомъ разстояніи.

Въ общемъ видѣ желѣзныя стропила похожи на деревянныя и для расчета силъ въ нихъ дѣйствующихъ, мо-

гутъ служить тѣ-же формулы. Струна желѣзнаго стропила никогда не служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ и балкою, она бываетъ поддержана въ нѣсколькихъ точкахъ и никогда не обременяется какимъ нибудь постороннимъ грузомъ, кромѣ своего собственнаго вѣса.

Къ числу чертежей стропилъ, данныхъ въ § 339, можно присоединить чертежъ 251, изображающій собственно



Чер. 251.

желѣзныя стропилы: 123 есть главный шпренгель, состоящій изъ двухъ ногъ 12 и 13 и струны 23. Чтобы найти напряженіе разныхъ его частей, надобно предположить, что половина вѣса соотвѣтственной части кровли лежитъ на точкѣ 1 и поступать какъ въ § 339 случай 1.

134 есть второстепенный шпренгель, поддерживающій срединою точку 5 стропильной ноги, посредствомъ распорки 45. Положите, что четверть вѣса кровли сосредоточена въ точкѣ 5 и поступайте, какъ сказано въ § 119.

563, 175 суть малые второстепенные шпренгеля, обремененные восьмою долею вѣса кровли.

Можно такимъ образомъ увеличить по произволу число опорныхъ точекъ стропильной ноги.

Общее или равнодѣйствующее напряженіе каждой части, каждаго бруса, входящаго въ составъ стропила, опредѣляется на основаніи правилъ § 121.

Такъ натянутость средней части струны получается разложеніемъ силъ главнаго шпренгеля 123. Натянутость струны 47 опредѣляется изъ второстепеннаго шпренгеля 143. Натянутость струнъ 57 и 56 изъ шпренгелей 157 и 563. Натянутость 17 есть сумма натянутостей, дѣйствующихъ въ шпренгеляхъ 143 и 175, натянутость 64 есть сумма натянутостей шпренгелей 123 и 143. Натянутость 63 есть сумма натянутостей шпренгелей 123, 143 и 563. Распоръ каждой изъ четырехъ частей стропильной ноги 13 есть сумма трехъ распоровъ, дѣйствующихъ въ главномъ, большомъ второстепенномъ и одномъ изъ малыхъ второстепенныхъ шпренгелей.

Что касается до подвѣшиванія главной струны къ коню, посредствомъ тяжей, то смотрите § 119, чер. 100.

При постройкѣ стропилъ употребляютъ: на стропильныя ноги тавровое или жолобчатое желѣзо, для распорокъ тавровое и угловое желѣзо или другое, способное выдерживать распоръ: о крѣпкости подпоръ этихъ и другихъ формъ говорено въ § 366. Части стропильной ноги можно разсматривать, какъ связанныя по концамъ. Иногда на распорки идетъ чугунъ (см. § 365). Малыя струны обыкновенно дѣлаются изъ круглаго или квадратнаго желѣза, большія изъ полосоваго, поставленнаго на ребро. Конецъ ноги можетъ быть связанъ со струною, посредствомъ проушины и болта (§ 361); или нога можетъ упираться въ чугунный башмакъ, къ которому струна можетъ быть прикрѣплена штыремъ или болтомъ (§ 362). Отвѣсныя или наклонныя струны и привѣсныя прутья, имѣютъ обыкновенно стремя у нижняго конца, гдѣ онѣ связываются съ раскосами или главною струною при помощи болтовъ.

Ноги могутъ быть замѣнены въ стропилахъ дуговыми ребрами. О крѣпкости ихъ говорено было § 374; относительно напряженій въ полукруглой дугѣ смотрите формулы для деревянныхъ дугъ въ § 345.

Очень простую и легкую крышу можно сдѣлать изъ согнутыхъ листовъ волнистаго желѣза: они могутъ дѣйствовать, какъ стропила и какъ кровля; для сопротивленія распору, должны быть положены струны. О крѣпкости волнистаго желѣза смотрите § 375

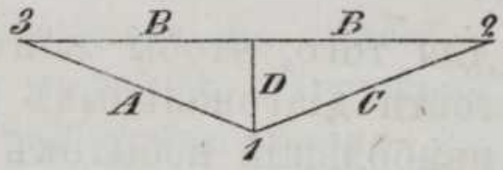
377. Желѣзные шпренгеля или раскосныя фермы похожи по фигурѣ и по дѣйствію въ нихъ груза, на деревянные шпренгеля, описанные въ § 341, и къ нимъ прилагаются тѣже формулы. Главную разницу составляетъ то, что въ желѣзныхъ шпренгеляхъ чаще нежели въ деревянныхъ, встрѣчаются штуки, которыя дѣйствуютъ попеременно то какъ распорки, то какъ струны; и что желѣзныя стропила имѣютъ не рѣдко форму опрокинутыхъ деревянныхъ, струны послѣднихъ обращаются въ распорки первыхъ и на оборотъ.

Относительно распредѣленія груза на нѣсколько параллельныхъ шпренгелей смотрите § 341.

Вотъ примѣры употребительнѣйшихъ желѣзныхъ шпренгелей.

I. *Треугольный шпренгель* (чер. 252) есть опрокинутый

деревянный представленный, на чертежѣ 207; *BB* есть распорка, поддержанная по срединѣ другою распоркою *D*, *A* и *C* суть струны. Напряженія частей могутъ быть расчитаны по формулѣ (1.) § 339 съ замѣною распора натянутостью и наоборотъ.



Чер. 252.

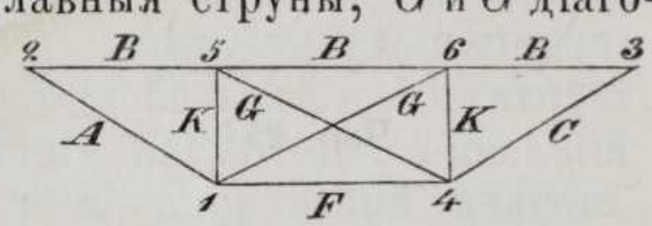
Если каждая часть распорки *B*, *B* служитъ въ тоже время балкою поддерживающей разпредѣленный грузъ, то наибольшая величина напряженія ея частицъ должна быть расчитана на формулѣ, служащей и для дуговыхъ арокъ

$$p = \frac{1}{A}\left(\frac{M}{qh} + H\right) \ldots . \quad (1.)$$

Гдѣ *H* есть распоръ, расчитанный по правилу § 339; *M* моментъ сгиба, *A* площадь сѣченія распорки *B*, *h* ея высота, *q* коефиціентъ, зависящій отъ фигуры балки, объ немъ говорено въ § 179.

Выводомъ величины *A* изъ уравненія (1.) можно получить формулу, для опредѣленія площади сѣченія балки—распорки, по данному *p* или наибольшему, дѣйствующему распору.

II. *Трапецоидальный шпренгель* (чер. 252) тоже похожъ на обращенный деревянный шпренгель чертежа 209: *B*, *B*, *B* есть распорка, поддержанная отвѣсными подпорами или стрѣлами *K*, *K*; *A*, *F* и *C* главныя струны, *G* и *G* діагональные раскосы, подверженные давленію только тогда, когда точки 5 и 6 не равно нагружены.



Чер. 253.

Наибольшее напряженіе въ разныхъ частяхъ проявляется только тогда, когда точки 5 и 6 сполна нагружены.

Пусть *W* означаетъ наибольшій грузъ въ каждой изъ этихъ точекъ, совключеніемъ четверти вѣса шпренгеля; *c* половину величины отверстія; *x* разстояніе точекъ 5 и 6 отъ средины пролета; *k* высоту шпренгеля, считаемую отъ оси распорки *B* до оси струны *F*; *T* натянутость каждой изъ наклонныхъ струнъ *A* и *C*. Тогда

$$H = W\frac{c-x}{k}; \quad T = \sqrt{(H^2 + W^2)} \ldots \ldots \quad (2.)$$

Для того, чтобы найти наибольшую величину S натянутости діагональныхъ раскосовъ G, положимъ что W' есть наибольшій избытокъ нагрузки одной изъ точекъ 5 или 6 надъ нагрузкою другой точки; тогда, какъ въ уравненіи (4) § 341

$$S = \left(\frac{G}{k} + W' \frac{c-x}{2ck}\right)\sqrt{4x^2 + k^2} \quad \ldots\ldots (3.)$$

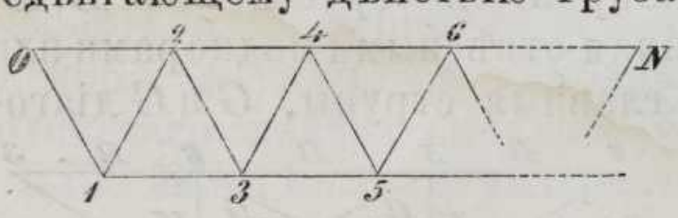
G есть вѣсъ одной изъ діагональныхъ распорокъ.

Наибольшій распоръ отвѣсной подпорки K дается формулою

$$V = W' \frac{c-x}{2c} + \frac{B}{4} + K + G \quad \ldots\ldots (3\ A.)$$

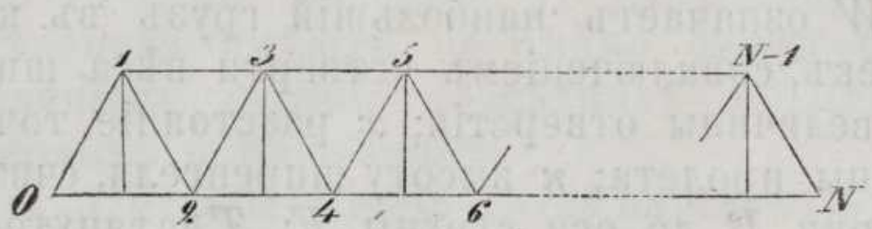
гдѣ B есть вѣсъ распорки B, B, B, а K вѣсъ отвѣсной подпорки.

III. *Зубчатый шпренгель* (zig zag truss) или Уаренова ферма состоитъ изъ двухъ поясовъ, верхній подвергается сжиманію, нижній вытягиванію при сгибаніи фермы дѣйствующимъ на нее грузомъ; изъ ряда діагональныхъ раскосовъ, расположенныхъ зигъ загомъ или зубцами и сопротивляющихся то своимъ распоромъ, то натянутостью сдвигающему дѣйствію груза; и наконецъ иногда изъ привѣсныхъ прутьевъ, которыми поперечины подвѣшены къ верхнему поясу въ точкахъ 1, 3, 5 (чер. 255).



Чер. 254.

Чер. 254 представляетъ ферму Уарена, приспособленную къ поддержанію настилки на верхнемъ поясѣ, какъ въ Крумлинскомъ путепроводѣ (чер. 228); на чертежѣ 255 изображена ферма съ настилкой внизу, опирающейся на нижній поясъ, къ верхнему подвѣшена она въ точкахъ, означенныхъ нечетными цифрами.



Чер. 255.

Дѣйствія груза на ферму расчитываются по способу, изложенному въ § 160 въ приложеніи къ балкѣ, нагруженной въ отдѣльныхъ точкахъ. Если всѣ точки равно нагружены, какъ на чертежѣ 255, формула для момента сгиба у какого нибудь поперечнаго сѣченія помѣщена при случаѣ VIII, § 161. При опредѣленіи сдвигающей силы надобно обратить вниманіе на дѣйствіе подвижнаго груза, какъ объяснено въ томъ же параграфѣ при случаѣ IX.

Лучшій способъ расчета напряженій разныхъ частей фермы Уарена состоитъ въ послѣдовательномъ придаваніи и вычитаніи, общія же формулы употребляются только для повѣрки произведенныхъ расчетовъ.

Первый пріемъ составляетъ выставка номеровъ во всѣхъ точкахъ, гдѣ есть вязки, означая 0 первую точку, и N послѣднюю; число N есть всегда четное и означаетъ число панелей. Пусть n есть нумеръ какой нибудь вязки, l величина пролета, κ высота фермы между осями горизонтальныхъ поясовъ, s длина каждаго наклоннаго раскоса, F_n сдвигающее усиліе у поперечнаго сѣченія между вязками n и $n+1$ такъ что F_0 есть сдвигающее усиліе между точками 0 и 1; H_n натянутость или распоръ, дѣйствующій на часть пояса между вязками $n-1$ и $n+1$ соотвѣтствующую вязкѣ n другаго пояса; такъ H_1 есть натянутость въ 02 на чер. 255, и распоръ въ 02 на чер. 254.

Наибольшій сгибъ происходитъ въ каждомъ поперечномъ сѣченіи тогда, когда ферма нагружена по всей длинѣ; наибольшее сдвигающее усиліе у какого нибудь поперечнаго сѣченія бываетъ тогда, когда большій прилегающій къ этому сѣченію отрѣзокъ фермы нагруженъ, а меньшій свободенъ; по этому для расчета напряженій поясовъ должно быть сдѣлано первое предположеніе, а для расчета напряженій раскосовъ второе.

Надобно различить два случая: первый, представленный на чертежѣ 255, гдѣ всѣ точки нагружены, и второй на чертежѣ 254, въ которомъ нагружены точки, означенныя четными номерами. Первый случай, болѣе сложный въ постройкѣ, проще для вычисленія, нежели второй.

Случай I. *Каждая вязка нагружена.* Пусть постоянная нагрузка на каждую вязку будетъ w, временная нагрузка w′, такъ что полный грузъ есть

$$W = (w + w')\ (N - 1) \ldots\ldots (4.)$$

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХЪ НАПРЯЖЕНІЙ.

Опредѣлите поддерживающія усилія F_0 въ точкахъ опоры 0 и N; они равны половинѣ полнаго груза

$$f_0 = \frac{W}{2} = (w + w')\frac{N - 1}{2} \quad \ldots\ldots (5.)$$

Потомъ вычислите первый членъ, и послѣдовательнымъ вычитаніемъ количества $l(w + w')$: Nk прочіе члены слѣдующаго ряда сдвигающихъ усилій, помноженныхъ каждое на отношеніе длины панели къ высотѣ фермы

$$\left.\begin{aligned} &\frac{l}{Nk}F_0 \\ &\frac{l}{Nk}F_1 = \frac{l}{Nk}F_0 - \frac{l}{Nk}(w + w') \\ &\frac{l}{Nk}F_2 = \frac{l}{Nk}F_1 - \frac{l}{Nk}(w + w') \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (6.)$$

Рядъ горизонтальныхъ напряженій разныхъ частей поясовъ получается послѣдовательнымъ придаваніемъ

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= \frac{l}{Nk}F_0 \\ H_2 &= H_1 + \frac{l}{Nk}F_1 \\ H_3 &= H_2 + \frac{l}{Nk}F_2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (7.)$$

Повѣрить произведенный расчетъ можно по тому, что для средней панели, которой номеръ есть $N:2$, должно получиться количество равное

$$\frac{Nl}{8k}(w + w') \quad \ldots\ldots (8.)$$

Это есть наибольшая величина H, которая имѣетъ одинакія величины для панелей, равно отстоящихъ отъ средины. Величину H для какой нибудь промежуточной панели можно повѣрить, если нужно, по слѣдующей формулѣ

$$H_n = \frac{l}{Nk}(w+w')\frac{n(N-n)}{2} \quad \ldots\ldots\ldots (9.)$$

гдѣ n есть номеръ панели.

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ДІАГОНАЛЬНЫХЪ НАПРЯЖЕНІЙ, ПРОИЗВОДИМЫХЪ ПОСТОЯННЫМЪ ГРУЗОМЪ.

Означимъ T_n напряженіе, производимое постояннымъ грузомъ въ діагональномъ раскосѣ, находящемся между n и $n+1$ вязками: это будетъ распоръ или натянутость, смотря по тому, будетъ ли раскосъ наклоненъ въ сторону средины пролета или къ краямъ. Величины такихъ напряженій получаются послѣдовательнымъ вычитаніемъ постояннаго количества $s\ w : k$.

$$\left.\begin{aligned} T_0 &= \frac{sw}{k}\frac{N-1}{2} \\ T_1 &= T_0 - \frac{sw}{k} \\ T_2 &= T_1 - \frac{sw}{k} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (10.)$$

Вѣрность расчета повѣряется тѣмъ, что напряженіе раскосовъ, прилегающихъ къ срединѣ пролета должно получиться равнымъ $s\ w : 2\ k$.

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ДІАГОНАЛЬНЫХЪ НАПРЯЖЕНІЙ, ПРОИЗВОДИМЫХЪ ВРЕМЕННЫМЪ ГРУЗОМЪ.

Эти напряженія пропорціональны ряду триугольныхъ чиселъ 0, 1, 3, 6, 10 . . ., получаемыхъ послѣдовательнымъ сложеніемъ натуральныхъ чиселъ 0, 1, 2, 3 . . . и вычисляются послѣдовательною придачею общей разности $sw' : Nk$ къ членамъ слѣдующей ариѳметической прогрессіи, состоящей изъ $N-1$ членовъ.

$$\frac{sw'}{Nk};\ 2\frac{sw'}{Nk};\ 3\frac{sw'}{Nk} \ldots\ldots \frac{(N-1)\,sw'}{Nk} \ldots\ldots (11.)$$

вѣрность расчета повѣряется непосредственнымъ вычисленіемъ послѣдняго члена этого ряда. Затѣмъ вычислите

слѣдующій рядъ N напряженій, начиная съ нуля и придавая послѣдовательные члены предъидущаго ряда.

$$\left.\begin{aligned} S_0 &= 0 \\ S &= \frac{sw'}{Nk} \\ S_2 &= \frac{sw'}{Nk} + 2\,\frac{sw'}{Nk} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (12.)$$

Послѣдній членъ долженъ быть равенъ

$$S_{N-1} = (N-1)\,\frac{sw'}{Nk} \quad \ldots\ldots (13.)$$

Раздѣлите этотъ рядъ членовъ пополамъ и напишите члены второй половины противъ членовъ первой, но въ обратномъ порядкѣ, а именно

$$\left.\begin{array}{ll} S_0 & S_{N-1} \\ S_1 & S_{N-2} \\ S_2 & S_{N-3} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ S_n & S_{N-n-1} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots (14.)$$

Для каждаго даннаго раскоса, котораго нумеръ есть n, и который находится между вязками n и $n+1$, соотвѣтственное количество S_n перваго столбца есть наибольшее напряженіе, производимое временною нагрузкою, и противное напряженію, производимому постояннымъ грузомъ; соотвѣтственное же количество втораго столбца S_{N-n-1} есть напряженіе этого раскоса отъ временнаго груза однородное съ напряженіемъ отъ постояннаго груза.

ОПРЕДѢЛЕНІЕ РАВНОДѢЙСТВУЮЩАГО НАПРЯЖЕНІЯ ВЪ КАЖДОМЪ РАСКОСѢ.

1) Для раскосовъ, наклоненныхъ въ сторону средины пролета возьмите сумму напряженія, произведеннаго постояннымъ грузомъ и однороднаго напряженія отъ временнаго груза

$$T_n + S_{N-n-1} \ldots\ldots (15.)$$

это будетъ наибольшій распоръ раскоса.

2) Для раскосовъ, наклоненныхъ въ сторону краевъ такимъ сложеніемъ получится наибольшая натянутость.

Но если желѣзный брусъ бываетъ попеременно въ состояніи распора и натянутости, то хотя численно натянутость будетъ больше распора, но распоръ можетъ быть для него вреднѣе, потому что желѣзо ему хуже сопротивляется. Для того чтобы узнать, находится ли данный раскосъ въ этихъ обстоятельствахъ, когда онъ наклоненъ къ краямъ, сравните натянутость отъ постояннаго груза (T_n) съ наибольшимъ распоромъ отъ временнаго груза (S_n); и если послѣдній больше, то избытокъ

$$S_n - T_n \ldots\ldots (16.)$$

будетъ наибольшій распоръ, дѣйствующій въ разсматриваемомъ раскосѣ.

Случай II. Вязки четныхъ нумеровъ нагружены, а нечетныхъ свободны отъ груза. Весь грузъ выражается формулою

$$W = (w + w')\left(\frac{N}{2} - 1\right) \ldots\ldots (17.)$$

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХЪ НАПРЯЖЕНІЙ.

Поддерживающее усиліе въ точкѣ опоры есть

$$F_0 = \frac{W}{2} = (w + w')\left(\frac{N}{4} - \frac{1}{2}\right) \ldots\ldots (18.)$$

Затѣмъ вычислите слѣдующій рядъ, котораго члены равны попарно, а каждая пара членовъ меньше предъидущей на количество $\frac{l}{Nk}(w + w')$

$$\left.\begin{aligned} \frac{l}{Nk} F_1 &= \frac{l}{Nk} F_0 \\ \frac{l}{Nk} F_3 = \frac{l}{Nk} F_2 &= \frac{l}{Nk} F_1 - \frac{l}{Nk}(w + w') \\ \frac{l}{Nk} F_5 = \frac{l}{Nk} F_4 &= \frac{l}{Nk} F_3 - \frac{l}{Nk}(w + w') \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (19.)$$

Расчетъ этотъ будетъ вѣренъ, когда для частей пояса прилегающей къ средней вязкѣ получены количества согласныя формуламъ: при нагруженной средней вязкѣ или когда N число двукратно четное, $\frac{w+w'}{2}$; а при свободной отъ груза средней вязкѣ или когда половина N есть число нечетное, 0.

Рядъ горизонтальныхъ напряженій получается послѣдовательными сложеніями, совершенно также какъ и въ случаѣ I, т. е.

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= \frac{l}{Nk} F_0 \\ H_2 &= H_1 + \frac{l}{Nk} F_1 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (20.)$$

Вѣрность этого расчета узнается потому, что для напряженія средней части пояса должно получить выводъ, согласный съ одною изъ слѣдующихъ формулъ

При N : 2 четномъ $H = \frac{Nl}{16k}(w + w')$ ..... (21.)

При N : 2 не четномъ $H = \frac{(N^2 - 4)\, l}{16\, Nk}(w + w')$ ..... (22.)

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ДІАГОНАЛЬНЫХЪ НАПРЯЖЕНІЙ.

производится также, какъ и въ случаѣ I съ слѣдующими только измѣненіями:

Во всѣхъ вычисленіяхъ число N должно быть замѣняемо его половиною, т. е. надобно считать что ферма имѣетъ половинное число дѣленій.

Каждый изъ рядовъ (10 и 12) имѣетъ N : 2, а не N членовъ.

Рядъ (11) имѣетъ $\frac{N}{2} - 1$ членовъ вмѣсто $N-1$.

При двукратно четномъ числѣ N рядъ (12) будетъ имѣть средній членъ, и онъ долженъ быть написанъ вдвойнѣ, т. е. въ концѣ каждаго столбца таблички (14).

Каждый изъ выводовъ означенныхъ буквами T и S въ рядахъ (10 и 14) и ихъ суммами въ формулахъ (15 и

16), относится къ парѣ прилегающихъ другъ къ другу раскосовъ, изъ которыхъ одинъ наклоненъ къ срединѣ пролета, а другой къ краю. Такъ

T_0, S_0, $S_{\frac{N}{2}-1}$ относятся къ раскосамъ 0 и 1;

T_1, S_1, $S_{\frac{N}{2}-2}$ » » » 2 и 3.

вообще

T_n, S_n, $S_{\frac{N}{2}-n-1}$ относятся къ раскосамъ $2n$ и $2n+1$.

Обыкновенно уголъ наклоненія раскосовъ въ фермѣ Уарена есть 60^0, при этомъ вычисленія нѣсколько сокращаются въ слѣдствіи того, что длина раскосовъ равна разстоянію вязокъ по одному поясу и есть $2l:N$. При другомъ углѣ наклоненія

$$s = \sqrt{k^2 + \frac{l^2}{N^2}}$$

Примѣръ случая II. Возьмемъ ферму чертежа 254 изъ 17 равносторонних̀ъ треугольниковъ, тогда $N = 18$.

$$\frac{l}{Nk} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.57735; \quad \frac{s}{k} = 1.1547$$

пусть грузъ на каждой изъ точекъ 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 и 16 будетъ постоянный $w = 300$ пудовъ; временный $w' = 450$ пудовъ. Эта будетъ ферма желѣзнаго моста пролетомъ въ 160 футъ, поддерживающая половину одного пути желѣзной дороги.

Поддерживающее усиліе есть

$$F_0 = (w + w')\left(\frac{N}{4} - \frac{1}{2}\right) = 3000 \text{ пудовъ.}$$

Слѣдующая таблица представляетъ разсчетъ горизонтальныхъ напряженій

$\frac{l}{Nk}(w+w')$	n	$\frac{l}{Nk}F$	H	
Пуды.		Пуды.	Пуды	
	0,18	1732.05		
433.0125	1,17	1732.05	1732,05	распоръ
	2,16	1299.04	3464.10	натянутость
433 0125	3,15	1299.04	4763.14	распоръ
	4,14	866.03	6062.18	натянутость
433.0125	5,13	866.03	6928.20	распоръ
	6,12	433.01	7794.23	натянутость
433.0125	7,11	433.01	8227.24	распоръ
	8,10	0	8660.25	натянутость
	9	0	8660.25	распоръ

Окончательная цифра повѣряется по формулѣ

$$H_9 = \frac{N^2 - 4}{16} \cdot \frac{l}{Nk} \cdot (w + w') = 20 \times 433{,}0125.$$

Вотъ исчисленіе напряженія раскосовъ, производимаго постоянною нагрузкою.

$$T_0 = \frac{sw}{k}\left(\frac{N}{4} - \frac{1}{2}\right) = 346.41 \times 4 = 1385.64.$$

$\frac{sw}{k}$	T	n раскосовъ, для которыхъ выводы означаютъ:	
Пуды.	Пуды.	Распоръ.	Натянутость.
	1385.64	1,16	0,17
346.41			
	1039.23	3,14	2,15
346.41			
	692.82	5,12	4,12
346.41			
	346.41	7,10	6,11
346.41			
	0		8,9

Слѣдующая таблица показываетъ расчетъ наибольшихъ напряженій отъ временной нагрузки.

$\frac{2sw'}{Nk}$		S	n раскосовъ, для которыхъ выводы означаютъ.	
Пуды.	Пуды.	Пуды.	Распоръ	Натянутость.
		0	0,17	1,16
	57.735			
57.735		57.735	2,15	3,14
	115.470			
57.735		173.205	4,13	5,12
	173.205			
57.735		346.41	6,11	7.10
	230.940			
57.735		577.35	8,9	9,8
	288.675			
57 735		866.025	10,7	11,6
	346.410			
57.735		1212.435	12,5	13,4
	404.145			
57 735		1616.58	14,3	15,2
	461 88			
		2078.46	16,1	17,0

Повѣрка этого расчета дѣлается по формулѣ

$$\frac{sw'}{k}\left(\frac{N}{4}-\frac{1}{2}\right)=1.1547\times 450\times 4=2078.46.$$

Слѣдующая таблица показываетъ соединенныя дѣйствія постояннаго и временнаго груза на раскосы S' означаетъ здѣсь для краткости меньшую величину S для даннаго раскоса.

n	T	S	S'	T S	S'—T
	Пуды.	Пуды.	Пуды.	Пуды.	Пуды.
0,17	1385.64 нат.	2078.46 нат.	0 расп.	3464.1 нат.	
1,16	1385.64 расп.	2078.46 расп.	0 нат.	3464.1 расп.	
2,15	1039.23 нат.	1616.58 нат.	57 74 расп.	2655.81 нат.	
3,14	1039.23 расп.	1616.58 расп.	57.74 нат.	2655 81 расп.	
4,13	692.82 нат.	1212.44 нат.	173.21 расп.	1905.26 нат.	
5,12	692.82 расп.	1212.44 расп.	173.21 нат.	1905.26 расп.	
6,11	346.41 нат.	866.03 нат.	346.41 расп.	1212.44 нат.	0
7,10	346.51 расп.	866.03 расп.	346.41 нат.	1212.44 расп.	0
8,9	0	577.35 нат.	577.35 расп.	577.35 нат.	577.35 расп.

Чтобы провѣрить числа двухъ послѣднихъ столбцовъ, означенныхъ $T+S$ и $S'-T$ въ этой таблицѣ надобно написать числа перваго столбца въ прямомъ порядкѣ, а подъ нимъ числа втораго столбца въ обратномъ порядкѣ; за тѣмъ брать послѣдовательныя разности, вторая разность должна быть постоянно равна въ настоящемъ случаѣ 57,735. Вотъ эти повѣрки:

	Первыя разности.	Вторыя разности.
3464,1		
	808,29	
2655,81		57,74
	750,55	
1905,26		57,73
	692,82	
1212,44		57,73
	635,09	
577,35		57,74
	577,35	
0		

Полученныя для $S'-T$ величины показываютъ, что только прилежащіе къ срединѣ пролета раскосы дѣйствуютъ попеременно то какъ распорки, то какъ струны.

Расчеты производимые въ Случаѣ I сходны съ этими, но гораздо проще и потому считаемъ лишнимъ представлять численный примѣръ.

IV. *Рѣшетчатая желѣзная ферма* состоитъ изъ двухъ горизонтальныхъ поясовъ, выдерживающихъ сгибающее дѣйствіе груза, и двухъ рядовъ діагональныхъ полосъ, наклоненныхъ къ горизонту обыкновенно подъ угломъ въ 45^0, взаимно перекрещивающихся и сопротивляющихся сдвигающему дѣйствію груза. Могутъ быть также и отвѣсныя ребра, по одному въ каждой нагруженной точкѣ, и по одному или по нѣскольку у каждой точки опоры: хотя эти ребра не составляютъ необходимости, но ихъ полезно помѣщать. Крѣпкость ихъ назначается по тѣмъ же правиламъ, какъ и для сплошныхъ балокъ (§ 370 ст. VI).

Для того, чтобы расчитать напряженія частей рѣшотчатой фермы одну изъ точекъ опоры, надобно означить 0, другую N; N есть число панелей, на которыя дѣлятъ ферму нагруженныя точки; самыя же эти точки означаются нумерами отъ 1 до $N-1$.

При расчетѣ сдвигающихъ усилій, надобно означить F_0 то, которое дѣйствуетъ въ панели между точками 0 и 1, F_1 между 1 и 2, вообще F_n между n и $n+1$; но при расчитываніи горизонтальныхъ напряженій, въ слѣдствіе сгибающаго дѣйствія груза, H_1 должно означить напряженіе пояса у отвѣснаго сѣченія, проходящаго чрезъ точку I.

Принявши это, надобно производить расчетъ распоровъ и натянутостей горизонтальныхъ поясовъ совершенно также, какъ для фермы Уарена, Случай I по формуламъ отъ 5 до 9.

Чтобы найти напряженія рѣшетки, составьте два ряда величинъ $T_n + S_{N-n-1}$, $S_n - T_n$ для разныхъ панелей фермы, какъ для фермы Уарена, Случай I, формулы отъ 10 до 16, и предположите, что каждая изъ этихъ силъ равномѣрно распредѣлена на всѣ полосы той панели фермы, къ которой она относится. Это предположеніе о равномѣрномъ распредѣленіи не совершенно точно, но погрѣшность практически не значительна.

При большомъ числѣ очень близкихъ другъ къ другу точекъ, можно считать ферму за равномѣрно нагруженную балку § 161, Случай VI и IX.

V. *Непрерывныя фермы.* Дѣйствіе непрерывности фермы Уарена и рѣшотчатой фермы, могутъ быть расчитаны слѣдующимъ образомъ:

Найдите горизонтальныя напряженія всѣхъ панелей фермы, сполна нагруженной въ томъ предположеніи, что она прерывается у быка; и пусть H_m будетъ выводъ, относящійся съ средней панели. Тогда

$$H_p = \frac{2w + w'}{3w + 3w'} H_m \quad \ldots\ldots \quad (23.)$$

будетъ натянутость верхняго пояса или распоръ нижняго пояса непрерывной фермы поверхъ быковъ, когда пролеты нагружены черезъ одинъ; разность между этимъ и прежде вычисленнымъ напряженіемъ H_n, для какой нибудь желѣзной полосы въ фермѣ, прерванной у быка, будетъ величина напряженія этой полосы въ непрерывной фермѣ, нагруженной черезъ пролетъ, т. е.

$$H_n - H_p \quad \ldots\ldots \quad (24.)$$

Отрицательная разность показываетъ напряженіе про-

тивоположнаго рода, т. е. когда $H_р$ болѣе нежели $H_п$; равенство этихъ напряженій означаетъ точку перегиба.

378. Желѣзныя раскосныя фермы. I. *Общія замѣчанія.* Есть много шпренгельныхъ и раскосныхъ фермъ, въ которыхъ распорки сдѣланы изъ чугуна и струны изъ желѣза: дѣлалось это съ тою цѣлью, чтобы воспользоваться избыткомъ сопротивленія чугуна раздробленію; но большая хрупкость этого матеріала и быстрое уменьшеніе его крѣпкости при раздавливаніи по мѣрѣ уменьшенія діаметра сравнительно съ высотою, какъ видно изъ § 336, заставили устранить чугунъ изъ употребленія въ металлическихъ мостахъ и дѣлать всѣ ихъ части изъ желѣза, съ тѣмъ, чтобы распоркамъ изъ этого металла давать форму хорошо сопротивляющуюся давленію или имѣющую достаточно большую боковую жесткость. Если какая нибудь часть подвергается попеременно сжиманію и вытягиванію, то она должна имѣть площадь сѣченія и боковую жесткость, для сопротивленія наибольшему давленію, которое можетъ на нее дѣйствовать; въ тоже время площадь поперечнаго ея сѣченія, за вычетомъ дыръ для заклепокъ, должна быть достаточна для сопротивленія наибольшему вытягиванію, которому она можетъ подвергнуться. Относительно формы, постройки и способовъ вязки распорокъ и струнъ, смотрите § 364, 365 и 366; объ соединеніи ихъ между собою сказано въ § 360—362.

II. *Трапецоидальный шпренгель*, который представленъ на чертежѣ 253, и объ которомъ говорено въ предъидущемъ параграфѣ, употребленъ въ огромныхъ размѣрахъ Брюнеломъ вторымъ, при постройкѣ моста подъ желѣзную дорогу черезъ реку Уай у Чепстоу. Наибольшій пролетъ этого моста, почти въ 300 футъ, состоитъ изъ двухъ параллельныхъ фермъ, устроенныхъ слѣдующимъ образомъ: горизонтальная распорка его B B B, есть труба 9 футъ въ діаметрѣ изъ котельнаго желѣза, толщиною въ $^5/_8$ дюйма; въ нѣкоторыхъ мѣстахъ она усилена обручами или кольцами. Концы трубы лежатъ на чугунныхъ сѣдлахъ, поддержанныхъ чугунными устоями. Дѣйствительная высота шпренгеля, означенная въ формулахъ буквою k, есть почти 50 футъ.

Каждая струна A, F, C и каждая діагональная связь G и G, состоитъ изъ двухъ цѣпей съ плоскими звѣньями, прикрѣпленныхъ къ трубѣ и отстоящихъ у мостоваго пола

другъ отъ друга на такое разстояніе, чтобы могли двигаться между ними поѣзды по одному пути желѣзной дороги. Отвѣсныя распорки k и k, суть прямоугольныя рамы съ отверстіями, достаточными для пропуска поѣздовъ. Точки 1 и 4 суть промежуточныя опоры для обыкновенной желѣзной балки, которой концы лежатъ на устояхъ; полное отверстіе моста въ 305 футовъ, дѣлится для балки на три пролета: средній въ 124 и два крайніе въ $90^1/_4$ футовъ каждый. Подъ четырьмя, поддержанными такимъ образомъ балками, находятся поперечины мостоваго полотна. Обѣ трубы связаны между собою для боковой жесткости.

Общій постоянный грузъ этого моста на погонный футъ одного пути, есть $1^1/_2$ тона или 93 пуда. Наибольшій временный грузъ можно считать, какъ и во всѣхъ мостахъ желѣзныхъ дорогъ, въ 1 тонъ или 62 пуда на погонный футъ пути.

Вотъ процентное распредѣленіе постояннаго груза въ этомъ мосту.

Труба.	20
Принадлежности трубы .	15
Главныя цѣпи	23
Діагональныя цѣпи. . .	5
Отвѣсныя рамы, сѣдла .	9
Балки, поперечины, полъ	28

Распоръ трубы, при постоянной и временной нагрузкѣ доходитъ до 100 пудовъ, такъ что коэффиціентъ благонадежности значительно превосходитъ шесть, какъ для постояннаго, такъ и для временнаго груза.

III. *Ферма Уарена* или зубчатая. Въ первыхъ мостахъ съ фермами этой системы, верхній поясъ составляла труба, цилиндрическая внутри и прямоугольная снаружи, для удобнѣйшаго прикрѣпленія раскосовъ, которые дѣлались изъ чугуна и имѣли форму крестообразную въ поперечномъ сѣченіи. Въ мостахъ позднѣйшей постройки, какъ верхній поясъ, такъ и раскосы дѣлались изъ желѣза; верхній поясъ имѣлъ форму опрокинутаго жолоба, прямоугольной трубы или крестообразную, какъ показано на чер. 235; онъ дѣлался изъ листовъ котельнаго желѣза, связанныхъ угловымъ желѣзомъ. Главная струна или нижній поясъ и раскосы, состояли изъ желѣзныхъ полосъ, поставленныхъ на ребро; относительно чего смотрите § 364 Ст. II и III.

Составныя части нижняго пояса, какъ между собою, такъ и съ раскосами связываются большими цилиндрическими болтами. Такіе же болты связываютъ раскосы съ верхнимъ поясомъ, котораго боковыя доски составляютъ стороны жолоба; верхніе концы раскосовъ входятъ внутрь этаго жолоба и въ немъ укрѣпляются. Части нижняго пояса могутъ быть также связаны посредствомъ накладокъ и заклепокъ.

Вся ферма можетъ быть доставлена на мѣсто постройки по частямъ и тамъ собрана.

Когда мостовое полотно подвѣшено подъ фермой, или когда ѣзда по низу, то боковая жесткость дается фермѣ тѣмъ, что привѣсныя доски, связывающія поперечины полотна съ верхнимъ поясомъ, имѣютъ въ сѣченіи форму I и совершенно или почти равны по жесткости съ поперечинами полотна. При ѣздѣ по верху, боковая жесткость придается фермѣ посредствомъ діагональныхъ горизонтальныхъ связей въ плоскости мостоваго полотна, и раскосами между фермами въ отвѣсныхъ поперечныхъ плоскостяхъ: на это можетъ идти круглое желѣза, отъ 1 до $1\frac{1}{2}$ дюйма въ діаметрѣ.

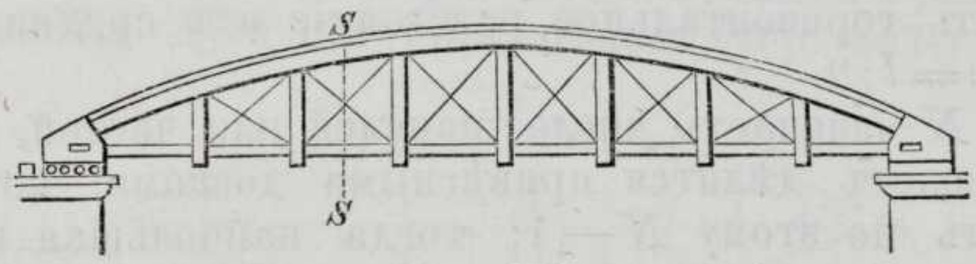
Изъ того, какъ устроена ферма Уарена можно видѣть, что части пояса и раскосы должны быть разсматриваемы при опредѣленіи ихъ крѣпкости, какъ связанныя по концамъ, а не укрѣпленныя неподвижно (§ 366).

IV. *Рѣшетчатыя фермы* имѣютъ пояса, которые могутъ быть устроены по тѣмъ же правиламъ, какъ въ фермѣ Уарена. Діагональные раскосы, подверженные сжиманію, должны имѣть форму соотвѣтствующую сопротивленію, которое должны оказывать; наибольшею своею шириною должны они быть помѣщены поперегъ моста, потому что продольная жесткость, придается имъ привинчиваніемъ ихъ въ точкахъ пересѣченія къ другимъ раскосамъ, подверженнымъ вытягиванію; дыры въ этихъ послѣднихъ раскосахъ, сдѣланныя для принятія связывающихъ болтовъ, ихъ ослабляютъ и это надобно принимать въ расчетъ при опредѣленіи ихъ размѣровъ.

Въ Бойнскомъ путепроводѣ сжимаемые раскосы, суть сами малыя рѣшотчатыя фермы и сдѣланы изъ двухъ тавровыхъ полосъ желѣза, связанныхъ діагональными раскосами.

379. Стянутыя дуги. Ферма этого рода состоитъ

чаще всего изъ желѣзной или чугунной дуги или арки, упирающейся въ башмаки, связанные горизонтальною струною; поперечины полотна прикрѣплены къ аркѣ привѣсными прутьями, которые въ тоже время поддерживаютъ и горизонтальную струну; діагональные раскосы придаютъ фермѣ жесткость для сопротивленія дѣйствію подвижнаго груза (чер. 256.)



Чер. 256.

Лучшая форма дуги, или вѣрнѣе неутральной ея оси есть парабола, но употребляютъ также очень часто дугу круга. Поперечное сѣченіе арки подобно верхнему поясу рѣшотчатой фермы, должно быть расчитано на сопротивленіе сжиманію. Цилиндрическая труба лучше всего удовлетворяетъ требованіямъ крѣпкости, желобчатая опрокинутая, отлитая изъ чугуна, или сдѣланная изъ желѣзныхъ листовъ и угловаго желѣза, удобнѣе для прикрѣпленія, какъ привѣсныхъ прутьевъ, такъ и раскосовъ. Привѣсные прутья имѣютъ большею частью форму доски съ закраинами или буквы I, шириною ихъ должно помѣщать поперегъ моста для боковой жесткости; къ низу они для той же цѣли уширяются и прикрѣпляются заклепками къ плоскимъ или трубчатымъ балкамъ, служащимъ поперечинами мостовому полотну. Главная струна, стягивающая арку, состоитъ изъ желѣзныхъ полосъ, поставленныхъ на ребро и прикрѣпляется къ башмакамъ посредствомъ болтовъ; діагональные раскосы состоятъ изъ круглаго или полосоваго желѣза.

Напряженія частей опредѣляются слѣдующимъ образомъ:

Случай I. Ферма съ діагональными раскосами:

Пусть l означаетъ величину отверстія, измѣряемую по оси струны, между концами неутральной оси дуги; k подъемъ отъ оси струны до оси дуги; w постоянный, w′ временный грузъ на погонную единицу длины пролета.

Натянутость струны и горизонтальный распоръ въ вершинѣ арки, получается довольно вѣрно по формулѣ:

$$H = \frac{(w + w')\, l^2}{8k} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1.)$$

Распоръ въ другихъ частяхъ арки измѣняется почти пропорціонально секансу угла наклоненія, или выражается формулою

$$\sqrt{\{H^2 + (w + w')^2 x^2\}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

гдѣ x есть горизонтальное разстояніе отъ средины арки у пятъ $x = l : 2$.

Пусть N означаетъ число панелей или частей, на которыя пролетъ дѣлится привѣсными досками, которыхъ число есть по этому $N - 1$; тогда найбольшая натянутость каждой, есть почти

$$\frac{(w'' + w')\, l}{N} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3.)$$

гдѣ w'' означаетъ постоянный грузъ на единицу длины, за исключеніемъ вѣса арки.

При частномъ обремененіи моста временнымъ или подвижнымъ грузомъ можетъ случиться, что нѣкоторыя привѣсныя доски подвержены будутъ сжиманію. Чтобы найти сжимающее усиліе и тѣ доски, которыя ему подвергнутся, переномируйте ихъ отъ одного конца арки до другаго; доска нумера n будетъ подвержена сжиманію величиною

$$\frac{l}{N}\left(w' \frac{n\,(n+1)}{2N} - w''\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4.)$$

когда это выраженіе есть отрицательное или равно нулю, то доска никогда не подвергается сжимающему усилію.

Наибольшая натянутость діагональнаго раскоса, производимая временнымъ грузомъ, есть

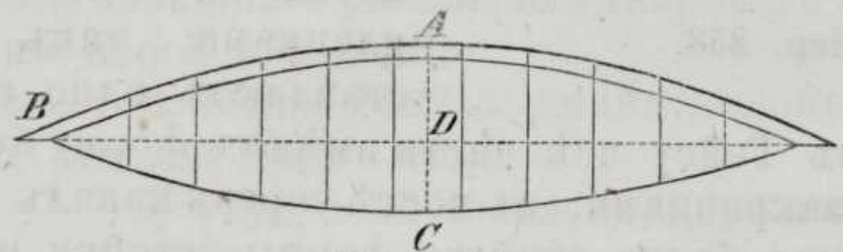
$$\frac{w'\, l\, s}{y} \frac{n\,(n+1)}{2N^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5.)$$

Здѣсь s есть длина раскоса, y возвышеніе одного его конца надъ другимъ.

Случай II. Стянутая дуга безъ раскосовъ должна быть сама по себѣ довольно жестка, для сопротивленія дѣйствію подвижнаго друза. Наибольшія напряженія струны и привѣсныхъ досокъ даны выраженіями (1 и 3); но дуга становится *аркою, имѣющею вязки по краямъ;* объ чемъ было

говорено въ § 374, Случай III, и въ § 180, Задача VI. При вычисленіи количества C по уравненію (51) § 180 не слѣдуетъ принимать въ расчетъ измѣненій отъ дѣйствія температуры, по тому что арка и струна одинаково разширяются; а членъ $aEA' : l$ долженъ быть замѣненъ отношеніемъ $u_a : u_b$ наибольшаго безопаснаго сжатія арки къ наибольшему безопасному удлиненію струны. Когда обѣ онѣ желѣзныя, то можно принять это отношеніе равнымъ $1/2$.

Случай III. Дуга стянутая цѣпью (чер. 257.) употреб-



Чер. 257.

лена въ большомъ размѣрѣ Брюнелемъ вторымъ при постройкѣ моста черезъ Тамаръ при Сальташѣ: струна имѣетъ форму цѣпи и участвуетъ вмѣстѣ съ дугою въ поддержаніи отвѣсныхъ прутьевъ. Аркою служитъ желѣзная труба, овальной формы, усиленная обручами: струна состоитъ изъ двухъ цѣпей.

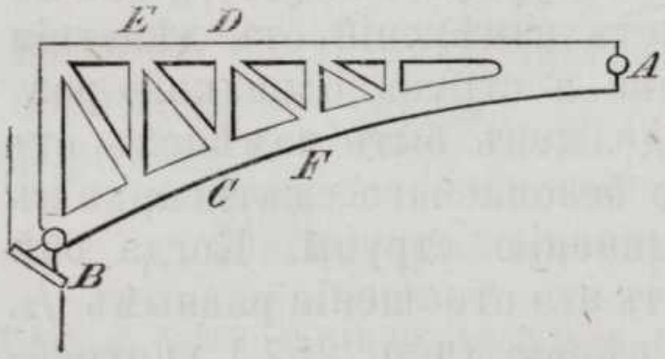
При назначеніи размѣровъ частей этакой фермы, хорошо уравновѣсить распоръ арки съ натянутостью цѣпи независимо отъ всякаго прибавочнаго груза; для этого общая горизонтальная хорда арки и цѣпи, должна дѣлить наибольшее отвѣсное между ними разстояніе AC въ точкѣ D, такъ чтобы удовлетворялась пропорція:

$$\text{Вѣсъ арки : вѣсъ цѣпи} :: AD : DC.$$

Къ этой фермѣ прилагаются формулы случаевъ I и II смотря по тому, будутъ ли употреблены раскосы для противодѣйствія временной нагрузкѣ, или самой аркѣ дана будетъ достаточная жесткость.

380. Арочные желѣзные мосты. Въ нихъ желѣзная арка связана съ продольной балкой отвѣсными стойками и раскосами, наклоненными въ сторону устоевъ (чер. 258) или перекрестными желѣзными полосами образующими рѣшотку. Къ этому роду относятся: построенный Г. Сезанномъ мостъ черезъ Тейсу у Чегедина изъ восьми арокъ, каждая въ 135.88 фута отверстіемъ и построенный Гг. Салемъ и Мантіономъ мостъ чрезъ Каналъ Сенъ Дени на желѣзной до-

рогѣ изъ Парижа въ Крейль, объ одномъ пролетѣ въ 147.17 фута. Въ каждомъ изъ этихъ мостовъ четыре фермы, по одной подъ каждымъ рельсомъ: ферма состоитъ изъ дуги, горизонтальной балки, отвѣсныхъ стоекъ и наклонныхъ въ сторону устоя раскосовъ; всѣ эти части сдѣланы изъ котельнаго желѣза съ заклепками, такъ что составляютъ одно цѣлое. Въ мостѣ черезъ Тейсу всѣ части имѣютъ форму буквы I, т. е. плоскія съ закраинами; въ мостѣ черезъ каналъ Сенъ Дени горизонтальная балка этой же формы, стойки и раскосы, имѣютъ крестообразное сѣченіе, а дуга плоская съ приклепанными къ ней четырьмя рельсами Барлоу—по два съ каждой стороны. Почти на одной восьмой части пролета балка ничемъ не отдѣляется отъ дуги, и онѣ имѣютъ общую среднюю плоскую грань. Четыре параллельныя фермы связаны между собою двумя рядами діагональныхъ раскосовъ изъ тавроваго желѣза: одинъ рядъ помѣщенъ въ плоскости балки, другой въ плоскости дуги.



Чер. 258.

Г. Мантіонъ предлагаетъ, какъ сказано было въ § 374, дѣлать дуговыя фермы съ вязками у пятъ и въ ключѣ, какъ показано въ A и *B* на чертежѣ 258. Фермы моста чрезъ каналъ Сенъ Дени имѣютъ вязки у пятъ, но онѣ непрерывны у ключа; въ мостѣ черезъ Тейсу дуга непрерывна у ключа и имѣетъ плоскія пяты, но по малой площади этихъ пятъ, сравнительно съ другими размѣрами этой дуги, можно принять эти пяты за вязки, т. е. считать дугу въ пятахъ подвижною въ направленіи.

Вотъ нѣкоторыя изъ главныхъ размѣровъ моста черезъ каналъ Сенъ Дени на Парижско-Крейльской желѣзной дорогѣ.

Каждая полуферма раздѣлена на десять равныхъ въ горизонтальномъ направленіи частей; въ каждомъ наддужникѣ восемь отвѣсныхъ стоекъ и шесть діагональныхъ раскосовъ; на пространствѣ двухъ съ половиною дѣленій, прилегающихъ къ вершинѣ арки, нѣтъ ни стоекъ, ни раскосовъ и тутъ дуга составляетъ одно цѣлое съ горизонтальной балкой.

Величина отверстія между осями пять	футовъ	147,14
Подъемъ		15,19
Толщина арки, одна 66-я отверстія,	дюймовъ	26,77
Толщина горизонтальной балки		11,81
Толщина дуги и балки вмѣстѣ у ключа		27,76
Ширина четырехъ стоекъ и раскосовъ у устоевъ		7,87
Ширина остальныхъ стоекъ и раскосовъ		5,91
Ширина діагональныхъ раскос. изъ тавроваго желѣза		5,91
Толщина въ плоскости дуги		3,15
Ширина діагональныхъ раскос. изъ тавроваго желѣза		4,92
Толщина въ плоскости балки		2,36
Длина полуцилиндрическихъ подпятниковъ		11,89
Діаметръ у началъ дуги		7,87
Длина чугунной доски, поддерживающей		53,11
Ширина		39,37
Средняя толщина подпятники		3,15

Площади поперечныхъ сѣченій.

Дуги съ балкою вмѣстѣ	кв. дюйм.	92,07
Дуги въ пяти отдѣленіяхъ у вершины	отъ 120,36 до	75,18
Въ остальныхъ отдѣленіяхъ		55,72
Горизонтальной балки	отъ 35,96 до	15,04
Стоекъ и раскосовъ	отъ 11,60 до	17,83
Поперечныхъ діагональныхъ раскосовъ	отъ 4,28 до	2,58

На горизонтальной балкѣ лежатъ поперечины, поддерживающія мостовое полотно; кромѣ поперечинъ, помѣщенныхъ надъ стойками наддужной части, есть еще по двѣ поперечины между каждыми двумя стойками

Постоянный грузъ строенія есть		На погонный футъ одного пути.
Желѣзныхъ частей пуд.	7633	25,94
Деревяннаго мостоваго пола	2747	9,34
Баласту	2754	9,36
Рельсовъ	415	1,41
Весь постоянный грузъ пудовъ	13549	46,05
Наибольшій временной грузъ считая его въ 4,000 киллограмовъ на метръ пути	21977	74,67
Весь дѣйствующій грузъ есть	35526	120,72

Вотъ способы, по которымъ расчитываются напряженія частей фермы.

Для отвѣсныхъ стоекъ и раскосовъ наддужной части надобно взять формулы, употребляемыя для привѣсныхъ прутьевъ и раскосовъ стянутой дуги (§ 379).

Для дуги поступите слѣдующимъ образомъ:

Случай I. Когда дуга имѣетъ вязки въ вершинѣ и у пятъ, то наибольшее горизонтальное напряженіе дуги и горизонтальной балки, съ достаточною вѣрностью для употребленія на практикѣ, будетъ отъ постояннаго груза

$$H_0 = \frac{w\,c^2}{2\,k} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1.)$$

отъ временной нагрузки по всей аркѣ

$$H_1 = \frac{w'\,c^2}{2\,k} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2.)$$

Здѣсь w есть постоянный грузъ на погонную единицу длины, w' временная нагрузка на погонную единицу, c половина величины пролета, k подъемъ дуги.

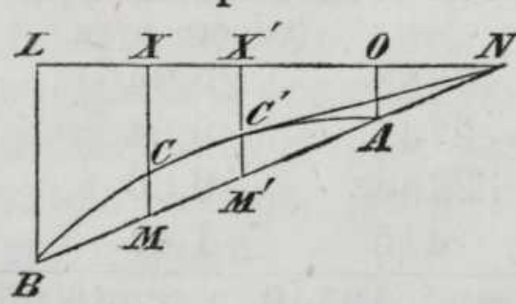
Когда напряженія дуги имѣютъ величину, выраженную уравненіями (1 и 2) то поперечное ея сѣченіе въ точкѣ, гдѣ наклоненіе есть i, должно имѣть площадь

$$A = \frac{(H_0 + H_1)\sec i}{f'} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3.)$$

f' есть безопасный распоръ выдерживаемый матеріаломъ или около 166 пудовъ на квадратный дюймъ.

Чтобы узнать дѣйствіе на дугу и балку временнаго груза, занимающаго половину пролета, можно употребить геометрическій или алгебрическій способъ.

Геометрическое построеніе есть слѣдующее: AB (чер. 259) есть ось дуги; OL ось балки; проведите хорду AB; пусть XCM отвѣсная ордината; тогда напряженіе вдоль горизонтальной балки у точки X будетъ



Чер. 259.

$$\frac{H_1 \times MC}{2CX} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

и оно есть натянутость въ свободной полуаркѣ и распоръ въ нагруженной

Горизонтальная составляющая наибольшаго напряженія,

происходящаго отъ временнаго груза на половинѣ пролета, въ точкѣ C въ свободной половинѣ арки есть

$$\frac{H_1 \times MX}{2CX} \ldots\ldots\ldots (5.)$$

и если эта величина окажется больше H_1 т. е. когда MX болѣе 2CX, то она должна быть вставлена вмѣсто H_1 въ уравненіе (3); въ противномъ случаѣ уравненіе (3) остается безъ перемѣны.

Чтобы найти точку найбольшаго горизонтальнаго напряженія въ свободной части балки продолжите AB и LO до пересѣченія въ точкѣ N, чрезъ которую проведите касательную NC' къ дугѣ, точка касанія C' есть искомая.

Для алгебрическаго выраженія напряженій назовемъ OA буквою a, OX буквою x

$$\frac{H_1 \times MC}{2CX} = \frac{H_1 (k\,c\,x - k\,x^2)}{2\,(a\,c^2 + k\,x^2)} \ldots (4\,A.)$$

$$\frac{H_1 \times MX}{2CX} = \frac{H'\,(a\,c^2 + k\,c\,x)}{2\,(a\,c^2 + k\,x^2)} \ldots (5\,A.)$$

Величина x дѣлающая послѣднее выраженіе наибольшимъ есть

$$OX' = x' = c\left\{-\frac{a}{k} + \sqrt{\frac{a}{k} + \frac{a^2}{k^2}}\right\} \ldots\ldots (6.)$$

Надобно замѣтить что всѣ расчеты по формуламъ (4, 5, 4A, 5A и 6) приложимы только къ тѣмъ частямъ фермы, которыя съ просвѣтами. Но тамъ гдѣ дуга съ балкой составляютъ одно цѣлое, арку надобно разсматривать, какъ подверженную соединенному дѣйствію распора $H_0 + \frac{H_1}{2}$ и момента сгиба

$$M' = \frac{H_1 \times MC}{2} = \frac{H_1\,k\,(c\,x - x^2)}{2\,c^2} \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Пусть h означаетъ толщину сложной арки т. е. дуги съ балкой, q коефиціентъ зависящій отъ формы поперечнаго сѣченія (§ 179); площадь поперечнаго сѣченія выразится формулою

$$A' = \frac{1}{f'}\left(\frac{M'}{qh} + \frac{H_1}{2} + H_0\right) = \frac{H_1}{2f'}\left(\frac{k\,(c\,x - x^2)}{q\,h\,c^2} + 1\right) + \frac{H_0}{f'} (8.)$$

Если эта площадь окажется болѣе данной уравненіемъ (3), то ее надобно принять.

Случай II. Когда дуга у вершины непрерывна, тогда точное опредѣленіе напряженія въ разныхъ точкахъ становится почти не возможно по сложности своей; но можно получить приблизительное рѣшеніе вопроса объ опредѣленіи площади поперечнаго сѣченія въ вершинѣ и около нея, достаточнаго для того чтобы дуга могла выдерживать искажающія дѣйствія прогиба, отклоненія устоевъ и перемѣнъ температуры.

Вычислите рядъ величинъ $qm'h^2$, какъ въ § 180 уравненіе (17.), для равноотстоящихъ поперечныхъ сѣченій всей желѣзной фермы, и по средней между ними величинѣ опредѣлите C при помощи формулы

$$C = \frac{15\,q\,m'h^2}{8\,k^2}\left(1+\frac{4\,k^2}{3\,c^2}+\frac{2\,a\,E\,A_1}{c}\mp\frac{e\,t\,E}{p_0}\right) \quad \ldots \quad (9.)$$

здѣсь a есть увеличеніе длины пролета въ слѣдствіе уклоненія устоевъ на пудъ распора; A_1 нѣкоторая предположенная площадь сѣченія дуги; E коефиціентъ упругости: $\mp t$ наибольшее возвышеніе или пониженіе температуры; e коефиціентъ расширенія (§ 374); p_0 допускаемая средняя единичная величина распора въ вершинѣ.

Потомъ расчитайте моментъ сгиба

$$M'' = \frac{(w+w')c^2}{2} \times \frac{C}{1+C} = (H_0+H_1)\frac{C\,k}{1+C}. \quad \ldots \quad (10.)$$

Пусть h_0 есть толщина арки у вершины, а q_0 величина q для этой же точки, исправленная площадь сѣченія у вершины будетъ

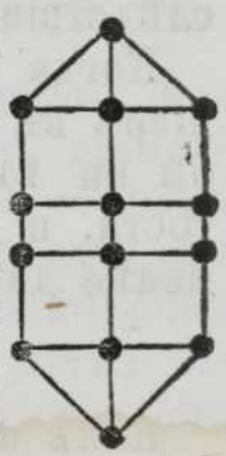
$$A = \frac{1}{f'}\left(\frac{M''}{q_0\,h_0}+H_0+H_1\right)$$
$$= \frac{H_0+H_1}{f'}\left(\frac{C\,k}{(1+C)\,q_0\,h_0}+1\right) \quad \ldots \quad (11.)$$

Когда горизонтальное ребро фермы есть вмѣстѣ съ тѣмъ и балка полотна, тогда поперечное сѣченіе для выдержанія прямаго напряженія и момента сгиба вычисляется по § 374 Случай III уравненіе (2).

381. Чугунные и желѣзные устои поддерживающіе металлическія фермы могутъ состоять изъ нѣсколь-

кихъ пустыхъ внутри цилиндровъ или конусовъ; каждый такой столбъ можетъ состоять изъ штукъ произвольной длины или счалковъ съ плоскими основаніями и съ закраинами; штуки эти могутъ быть связаны болтами, проходящими сквозь закраины; столбы составляющіе одинъ быкъ связываются вмѣстѣ горизонтальными брусьями и раскосами. Способъ опредѣленія напряженій въ столбахъ и раскосахъ изложенъ въ § 348. Каждый счалокъ столба должно разсматривать какъ имѣющій вязки по концамъ и крѣпкость его должна быть опредѣляема по этому условію (§ 365).

Какъ примѣръ такого устройства устоевъ можно указать на крумлинскій путепроводъ, изображенный на чертежѣ 228; найбольшее возвышеніе рельсовъ желѣзной дороги надъ дномъ долины доходитъ до 200 футъ. Каждый быкъ этого путепровода состоитъ изъ четырнадцати чугунныхъ колонъ 17 футовой высоты и 12 дюймоваго внѣшняго діаметра; толщина стѣнокъ внизу равна дюйму, къ верху она постепенно уменьшается и доходитъ до $^7/_8$ дюйма. Двѣ среднія колоны суть отвѣсные цилиндры; другія же наклонны такъ, что самый высокій устой имѣетъ у основанія 60 футъ длины при 27 футахъ ширины, вверху же всѣ устои имѣютъ 30 футъ длины и 18 ширины. Продольныя и поперечныя горизонтальныя связи имѣютъ въ поперечномъ сѣченіи двойную тавровую форму при 12 дюймовой высотѣ средней грани и 5 дюймовой ширинѣ лежней. Діагональные раскосы въ отвѣсныхъ и наклонныхъ плоскостяхъ сдѣланы изъ полосоваго желѣза шириною 4 дюйма и толщиною $^3/_4$ дюйма; для діагональныхъ горизонтальныхъ раскосовъ взято круглое желѣзо 2 дюйма толщиною. Каждая колона имѣетъ пiедесталъ высотою отъ 3 до 5 футъ, площадью въ 3 квадратныхъ фута, онъ стоитъ на каменномъ фундаментѣ, къ которому прикрѣпленъ залитыми въ кладку болтами.



Чер. 260.

Чугунные устои могутъ быть замѣнены желѣзными и подобно имъ должны быть разсматриваемы какъ имѣющіе связки въ точкахъ, гдѣ приходятся раскосы и горизонтальныя связи (§ 376).

Иногда устой дѣлаютъ изъ одного ряда пустыхъ вну-

три чугунныхъ цилиндровъ или даже изъ однаго такого цилиндра; въ этомъ случаѣ наибольшая величина натянутости или распора опредѣляется слѣдующимъ образомъ. Пусть P означаетъ отвѣсный грузъ на одномъ цилиндрѣ, H горизонтальное на него давленіе дѣйствующее на высотѣ Y отъ основаній или отъ того сѣченія, въ которомъ требуется опредѣлить напряженіе; d средній между наружнымъ и внутреннимъ діаметромъ цилиндра; A площадь его сѣченія равная произведенію d на толщину стѣнки и на 3.1416; наибольшая единичная величина распора и натянутости есть приблизительно

$$\frac{1}{A}\left(\frac{4HY}{d} \pm P\right) \ldots\ldots (1.)$$

Случаи, въ которыхъ моментъ сгиба, произходящій отъ распора, отличается отъ HY, будутъ разсмотрены въ послѣдствіи.

Когда столбъ стоитъ на твердомъ основаніи, а не опущенъ въ грунтъ, то хорошо дать ему такіе размѣры чтобы ни въ одной точкѣ его основанія не было натянутости, и для этого діаметръ основанія не долженъ быть менѣе даваемаго формулою

$$d = \frac{4HY}{P} \ldots\ldots (2.)$$

Какъ примѣръ подобныхъ устоевъ можно указать на употребленные подполковникомъ Кеннеди при устройствѣ мостовъ желѣзной дороги Бомбей-Бородской. Каждый устой состоитъ изъ трехъ чугунныхъ пустыхъ внутри цилиндровъ съ продольными и діагональными связями; въ сильныхъ потокахъ прибавлены къ нимъ два наклонныхъ цилиндра тѣхъ же размѣровъ и того же устройства; они отклоняются отъ отвѣснаго направленія на 30°. Счалки цилиндровъ имѣютъ 9 футъ длины, наружный ихъ діаметръ есть 2 фута 6 дюймовъ, толщина стѣнокъ 1 дюймъ; счалки связаны болтами проходящими сквозь закраины. Выше поверхности земли закраины находятся снаружи, связь сдѣлана 12 болтами діаметромъ въ 1 дюймъ; ниже поверхности земли закраины внутри цилиндровъ и связаны 10 болтами; діаметръ данъ цилиндрамъ наименьшій, при которомъ человѣкъ можетъ войти внутрь для завинчиванія гаекъ болтовъ.

При мягкомъ грунтѣ нижній счалокъ имѣетъ форму

винта 4 футъ 6 дюймовъ въ діаметрѣ, имъ цилиндръ ввинчивается въ землю на глубину отъ 20 до 45 футъ смотря по твердости грунта. Объ винтовыхъ сваяхъ говорено будетъ въ послѣдствіи въ статьѣ объ деревянныхъ и металлическихъ основаніяхъ. Въ скалистомъ грунтѣ для помѣщенія цилиндра вытесывается круглая яма глубиною около 2 футъ и цилиндръ заливается въ ней цементомъ. Отвѣсные цилиндры или столбы отстоятъ на 14 футъ одинъ отъ другаго ось отъ оси. Продольныя связи изъ тавроваго желѣза 5 или 6 кв. дюймовъ площади сѣченія; діагональныя связи изъ угловаго желѣза между 3 и 4 кв. дюймовъ площади.

Такіе устои имѣютъ достаточную жесткость для сопротивленія силѣ потока и ударомъ плавающихъ тѣлъ; но они не могутъ выдерживать распора хоть сколько нибудь значительныхъ дуговыхъ арокъ; они употреблены для поддержки фермъ Уарена.

Въ нѣкоторыхъ построенныхъ въ послѣднее время мостахъ устои состоятъ изъ чугунныхъ цилиндровъ діаметромъ въ 7, 9, 10 и болѣе футъ при толщинѣ стѣнокъ отъ 1 до 2 дюймовъ: цилиндры наполнены бетономъ или бутомъ. Способъ погруженія въ грунтъ этихъ цилиндровъ будетъ изложенъ въ статьѣ о деревянныхъ и металическихъ основаніяхъ; они могутъ выдерживать довольно значительный распоръ арокъ.

Напримѣръ въ мостѣ черезъ Тейсу, о которомъ говорено въ § 380, каждый устой состоитъ изъ двухъ цилиндровъ, поставленныхъ бокъ о бокъ.

Діаметръ каждаго цилиндра есть	футовъ	9,843
Толщина стѣнокъ	дюймовъ	1,38
Возвышеніе оси горизонтальной балки надъ пятами дуги $Y' =$	футовъ	18,93
Возвышеніе начала дуги надъ основаніемъ устоевъ $Y =$	»	65,4
Найбольшій распоръ у какого нибудь устоя бываетъ тогда, когда одна изъ поддерживаемыхъ имъ полуарокъ нагружена, а другая свободна, при этомъ отвѣсный грузъ на одномъ цилиндрѣ $P =$	пудовъ	10,190
Избытокъ распора нагруженной арки надъ свободною есть $H =$	»	10,010

Господинъ Сезанъ въ статьѣ объ этомъ мостѣ, помѣщенной въ Annales des ponts et chaussées, 1859, разсматриваетъ цилиндръ какъ отвѣсную балку, подверженную давленію H у началъ дуги; давленію этому сопротивляются распоръ горизонтальной балки свободной арки, дѣйствующій у вершины устоя и распоръ въ основаніи, такъ что моментъ сгиба есть не HY, какъ въ уравненіи (1), но

$$\frac{H\,Y\,Y'}{Y+Y'} \ldots . \quad (3.)$$

и наибольшіе распоръ и натянутость суть

$$\frac{1}{A}\left(\frac{4\,H\,Y\,Y'}{(Y+Y')\,d} \pm P\right) \ldots . \quad (4.)$$

По этому наибольшія величины напряженій въ цилиндрахъ моста черезъ Тейсу суть

Распоръ около 119 пудовъ на квадратный дюймъ

Натянутость около 20.

382. Висячіе мосты. *Форма, вѣсъ, расположеніе и нагрузка цѣпей и канатовъ.* Вся теорія дѣйствія равномѣрно разпредѣленнаго груза въ висячемъ мосту съ отвѣсными прутьями изложена въ § 125, а съ наклонными прутьями въ § 126. Коефиціентъ благонадежности для постояннаго груза надобно дѣлать равнымъ тремъ, а для временнаго шести; но въ нѣкоторыхъ существующихъ мостахъ коефиціенты эти гораздо менѣе.

Когда для удобства исполненія цѣпь имѣетъ вездѣ одинакую площадь сѣченія, тогда эта площадь должна быть соразмѣрна наибольшей натянутости, т. е. натянутости въ точкахъ привѣса или въ вышей точкѣ привѣса, если онѣ на разныхъ высотахъ; но для сбереженія матеріала и уменьшенія вѣса измѣняютъ площадь сѣченія цѣпи сообразно измѣненію натянутости или пропорціонально секансу угла наклоненія цѣпи; въ этомъ случаѣ вѣсъ частей цѣпи при одинакихъ горизонтальныхъ разстояніяхъ измѣняется пропорціонально квадратамъ секансовъ угловъ наклоненія этихъ частей.

Слѣдующія формулы даютъ абсолютный и сравнительный вѣсъ цѣпей одинакой площади и одинакой крѣпкости съ достаточною степенью приближенія для практическихъ цѣлей.

Пусть x означаетъ половину длины пролета; y стрѣлу цѣпи въ футахъ; обыкновенно x бываетъ отъ $4^1/_2$ до $7^1/_2$ разъ больше y.

Пусть C означаетъ вѣсъ цѣпи при длинѣ x и площади сѣченія, достаточной для выдержанія наибольшей дѣйствующей горизонтальной натянутости H; C' вѣсъ половины цѣпи однообразной площади сѣченія; C'' вѣсъ полуцѣпи равномѣрной крѣпкости. Приблизительно

$$C' = C\left(1+\frac{8\,y^2}{3\,x^2}\right) \ldots\ldots (1.)$$

$$C'' = C\left(1+\frac{4\,y^2}{3\,x^2}\right) \ldots\ldots (2.)$$

Погрѣшность первой формулы составляетъ излишекъ и не превосходитъ одной 3000-ной при встрѣчающихся на практикѣ случаяхъ.

Величину C въ предъидущихъ формулахъ можно принять, когда x въ футахъ,

при лучшемъ проволочномъ канатѣ равною $\frac{H\,x}{4500}$ . . . . (3.)

для цѣпи изъ желѣзныхъ звеньевъ $\frac{H\,x}{3000}$ . . . . (4.)

Послѣдняя формула даетъ чистый вѣсъ цѣпи безъ придаточнаго матеріала на проушины и болты, связывающіе звѣнья; на этотъ предметъ надобно прибавить около одной восьмой доли вѣса цѣпи.

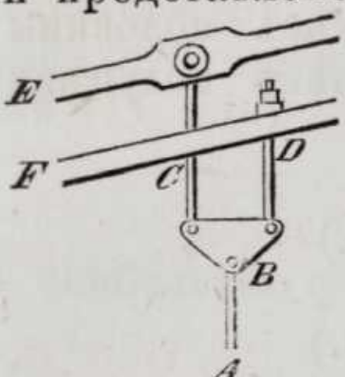
Что касается до устройства и способовъ соединенія звѣньевъ цѣпи, то смотрите § 364, ст. III; расположеніе проволочнаго каната объяснено тамъ же въ ст. V.

Наименьшее число цѣпей или канатовъ въ мосту есть два, по одному на каждой сторонѣ полотна. Ихъ кладутъ иногда въ три и четыре ряда, въ каждомъ ряду бываетъ по нѣскольку цѣпей въ одной отвѣсной плоскости. Менейскій мостъ поддержанъ шестнадцатью цѣпями, по четыре въ каждомъ изъ четырехъ рядовъ.

Равномѣрное распредѣленіе груза на всѣ цѣпи одного ряда производится разными способами, такъ напримѣръ разпредѣленіемъ отвѣсныхъ прутьевъ поровну на всѣ цѣпи: для того чтобы весь рядъ цѣпей одинаково дѣйствовалъ, надобно чтобы пролеты ихъ, стрѣлы и всѣ размѣры были совершенно одинаковы, тогда онѣ будутъ тер-

пѣть одинакія измѣненія при перемѣнахъ температуры и нагрузки.

Наилучшее разпредѣленіе груза на двѣ цѣпи употреблено Брюнелемъ при постройкѣ Гунгерфордскаго моста и представлено на чертежѣ 261; A есть прутъ привѣшенный къ желѣзному рычагу B съ равными плечами; концы этого рычага связаны посредствомъ прутьевъ C и D съ цѣпями E и F, изъ которыхъ каждая поддерживаетъ половину груза привѣснаго прута A.



Чер 261.

Въ Чельсейскомъ мосту нѣтъ прутьевъ C и D, и рычагъ B замѣненъ опрокинутымъ триугольникомъ; къ вершинѣ его привѣшенъ прутъ A, одинъ изъ угловъ надѣтъ на болтъ связывающій колѣна одной цѣпи, другой уголъ прикрѣпленъ къ болту лежащему на второй цѣпи.

При каждомъ привѣсномъ прутѣ должна быть гайка, которая позволяла бы измѣнять его длину сообразно обстоятельствамъ.

Обыкновенное разстояніе между привѣсными прутьями есть отъ 5 до 12 футъ, каждый прутъ поддерживаетъ одинъ конецъ поперечины мостоваго полотна.

Когда висячій мостъ состоитъ изъ нѣсколькихъ пролетовъ, то всѣ пролеты должны быть поддержаны равными и подобно расположенными параболами. Парабола очень близко подходитъ къ кривой линіи, на которой виситъ цѣпь, объ чемъ было говорено въ § 128.

II. *Мостовое полотно.* Устройство деревянныхъ мостовыхъ полотенъ изложено было въ § 336, а желѣзныхъ въ § 375. Обыкновенно полотну висячихъ мостовъ даютъ небольшую выпуклость.

III. *Устои и тельжки.* Объ разныхъ способахъ укрѣпленія цѣпи на верху устоя говорено было въ § 125, задача VI. За изключеніемъ того случая, когда устой имѣетъ значительную устойчивость, слѣдуетъ употреблять второй изъ описанныхъ тамъ способовъ, т. е. прикрѣплять цѣпи къ телѣжкѣ, движующейся на каткахъ по горизонной плоскости, потому что тутъ грузъ дѣйствуетъ на устой всегда въ отвѣсномъ направленіи. По существующимъ примѣрамъ можно полагать что лучшая длина пло-

скости, на которой движется телѣжка есть одна пятидесятая доля пролета; телѣжка эта должна быть желѣзная.

Есть примѣры употребленія качающихся чугунныхъ устоевъ; цѣпи прикрѣпляются на глухо къ вершинѣ такого устоя, у котораго внизу есть горизонтальная ось вращенія. Устой можетъ въ этомъ случаѣ нѣсколько отклоняться отъ отвѣснаго направленія въ ту или другую сторону, смотря по расположенію груза.

Для того, чтобы избѣжать изкаженіи формы висячаго моста о нѣсколькихъ пролетахъ, когда одинъ изъ нихъ нагруженъ а сосѣдніе свободны, Г. Барлоу предлагаетъ давать металлическому устою съ на глухо прикрѣпленными цѣпями видъ балки или фермы, поставленной отвѣсно, балка эта должна имѣть достаточную крѣпкость, чтобы выдерживать избытокъ горизонтальной натянутости нагруженнаго пролета надъ натянутостью свободнаго. Избытокъ этотъ выражается формулою.

$$H' = \frac{w' x^2}{2y} \quad \ldots\ldots\ldots (5.)$$

здѣсь w' наибольшій временный грузъ на футъ полотна; x половина длины пролета, y стрѣла моста.

Если это количество умножить на возвышеніе точки прикрѣпленія цѣпей надъ какимъ нибудь горизонтальнымъ сѣченіемъ устоя, то получится моментъ сгиба дѣйствующій въ этомъ сѣченіи; къ отвѣсной силѣ, происходящей отъ этаго момента, давящей на одну сторону устоя и вытягивающей другую, присоединяется отвѣсный грузъ, котораго величина есть

$$P = W'' + (2w + w')x. \quad \ldots\ldots (6.)$$

гдѣ w есть постоянный грузъ на погонный футъ полотна, а W'' вѣсъ части устоя находящейся выше разсматриваемаго сѣченія. Соединенное дѣйствіе давленія и сгибающей силы объяснено въ § 381.

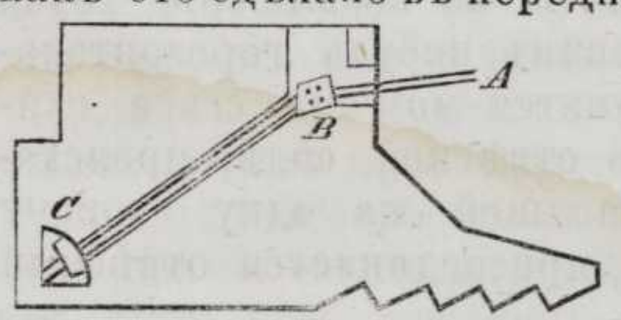
IV. *Береговые устои. Укрѣпленіе цѣпей.* Береговымъ устоемъ висячему мосту можетъ служить масса каменной кладки или естественной скалы, къ которой прикрѣпляется конецъ цѣпи и которая имѣетъ достаточную устойчивость для сопротивленія натянутости цѣпи.

На чертежѣ 262, представляющемъ устройство подобное береговому устою Гунгерфордскаго моста, пара цѣпей входитъ въ отверстіе A устоя въ направленіи почти

горизонтальномъ. У точки *B* направленіе цѣпи измѣняется при помощи телѣжки или сѣдла (saddle), опирающагося на каменную кладку. Цѣпи идутъ по наклонной трубѣ въ устоѣ и потомъ въ отверстія чугунной закладной доски *C*, у которой онѣ закрѣпляются клиньями; доски давятъ на пару поперечныхъ чугунныхъ балокъ заложенныхъ въ каменной кладкѣ.

Условія устойчивости береговаго устоя висячаго моста точно тѣже, что и арочнаго съ тѣмъ только различіемъ, что устой можетъ быть тутъ сдвинутъ или опрокинутъ въ наружу, а не внутрь: вѣсъ устоя долженъ быть таковъ, чтобы треніе удержало устой на мѣстѣ, вѣсъ и толщина его должны быть таковы, чтобъ онъ не могъ опрокинуться; центръ сопротивленія въ основаніи долженъ отстоять отъ центра тяжести площади основанія на благонадежную долю его ширины. Относительно устройства фундамента такого устоя смотрите § отъ 235 до 239; объ устойчивости говорено въ § 263 и 264.

Треніе можетъ быть увеличено устройствомъ всего основанія или части его подъ плоскость совершенно или почти перпендикулярную къ равнодѣйствующей давленія, какъ это сдѣлано въ передней части устоя на чертежѣ 262.



Чер. 262.

При употребленіи свай для устройства основанія, ихъ надобно забивать въ направленіи возможно близко подходящемъ къ равнодѣйствующей давленія. Смотрите II Отдѣлъ слѣдующей главы

Сѣдла помощью которыхъ измѣняется направленіе цѣпей могутъ быть безъ катковъ, хотя они должны нѣсколько перемѣщаться въ слѣдствіе вліянія перемѣнъ температуры; перемѣщеніе это облегчается тѣмъ, что подъ нихъ кладутъ слой асфальта, толщиною отъ 5 до 6 дюймовъ.

Проволочные канаты, имѣя большую поверхность, требуютъ особенныхъ предосторожностей для охраненія ихъ отъ ржавчины, поэтому не считаютъ удобнымъ ихъ употребленіе внутри устоевъ и предпочитаютъ имъ цѣпи изъ желѣзныхъ звѣньевъ, прикрѣпляемыя къ концамъ наружныхъ проволочныхъ канатовъ одинаковой съ ними крѣпкости. Всѣ углубленія и трубы въ устоѣ должны быть

такъ устроены, чтобы цѣпи въ нихъ заложенныя удобно было осматривать и въ случаѣ надобности исправлять.

V. *Качанія моста и средства ихъ предупреждать.* Висячій мостъ, состоящій только изъ устоевъ, цѣпей, привѣсныхъ прутьевъ и полотна, можетъ свободно качаться въ отвѣсномъ и горизонтальномъ направленіи; отвѣсныя качанія состоятъ въ волнообразномъ движеніи полотна и цѣпей. Каждый ударъ по мосту производитъ рядъ качаній на пространствѣ соотвѣтственномъ силѣ удара; а рядъ ударовъ, производимыхъ черезъ промежутки времени, соразмѣрные продолжительности качаній, порождаетъ постоянное волнообразное движеніе въ мосту постепенно возрастающее, такъ что постоянные удары, хотя и малые, но происходящіе черезъ одинакіе промежутки времени, могутъ повредить и даже разрушить очень крѣпкій висячій мостъ. Таковъ напримѣръ проходъ по мосту солдатъ въ ногу; по этому всегда при приближеніи солдатъ къ мосту надобно ихъ предупреждать, чтобы они не шли въ ногу.

Ураганы и вѣтры производятъ въ висячихъ мостахъ отвѣсныя и горизонтальныя качанія, которыя были иногда разрушительны.

Хотя нѣтъ возможности совершенно уничтожить качанія въ висячемъ мосту, но можно ихъ уменьшать употребленіемъ распорокъ, помѣщенныхъ въ плоскости цѣпей или внѣ ихъ.

Примѣръ употребленія внутреннихъ и наружныхъ распорокъ представляетъ Ніагарскій висячій мостъ. Въ немъ есть 120 распорокъ, которыя могутъ быть названы вантами; это проволочные канаты, которыхъ площади сѣченія почти въ 200 разъ менѣе сложной площади сѣченія всѣхъ четырехъ привѣсныхъ канатовъ; нѣкоторые изъ нихъ идутъ отъ вершины устоя къ разнымъ точкамъ мостоваго полотна; другіе помѣщены подъ мостомъ въ наклонныхъ направленіяхъ и прикрѣплены одними концами къ полотну, другими къ скалѣ, на которой построенъ устой. Верхнее или желѣзнодорожное полотно, и нижнее или обыкновенное составляютъ верхъ и низъ трубчатой рѣшотчатой фермы шириною 24 и высотою 18 футъ съ деревянными поясами и стойками и съ желѣзными раскосами въ горизонтальномъ и отвѣсномъ направленіяхъ.

Всякій хорошо устроенный висячій мостъ имѣетъ го-

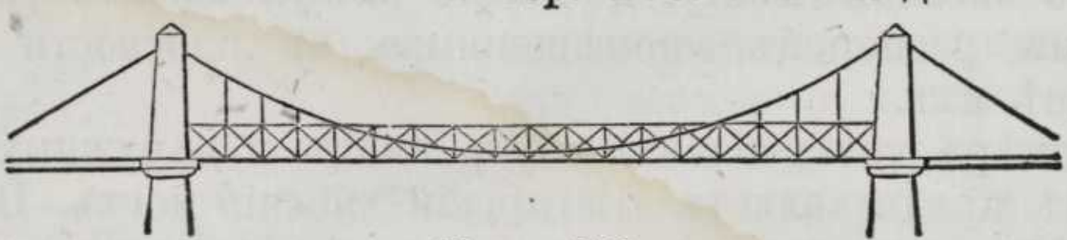
ризонтальные діагональные раскосы въ полотнѣ, о дѣйствіи которыхъ говорено въ § 336. Раскосы въ плоскости отвѣсной употребляютъ для приданія мосту отвѣсной жесткости, о чемъ будетъ говорено въ послѣдствіи.

Чтобы сдѣлать жесткими въ отвѣсномъ направленіи два моста, построенные на островѣ Бурбонѣ, Брюнель старшій употребилъ подпольныя цѣпи, площадью сѣченія въ одну треть противъ главныхъ цѣпей. Полотно прикрѣплено къ этимъ цѣпямъ посредствомъ затяжекъ.

При наклонныхъ привѣсныхъ прутьяхъ висячій мостъ имѣетъ болѣе жесткости, нежели при отвѣсныхъ прутьяхъ.

VI. *Раскосы для сопротивленія большому подвижному грузу.* Предлагали и даже употребляли разные способы для того чтобы дать висячему мосту одинаковое съ балочными или арочными мостами сопротивленіе большому подвижному грузу, каковъ напримѣръ поѣздъ желѣзной дороги. Для того чтобъ эти средства достигали своей цѣли въ мостахъ о нѣсколькихъ пролетахъ, цѣпи должны быть на-глухо прикрѣпляемы къ устоямъ достаточной крѣпкости, какъ было о томъ говорено въ ст. III.

1. *Вспомогательныя фермы.* Двѣ фермы рѣшетчатыя, зубчатыя или сплошныя привѣшиваются посредствомъ прутьевъ къ цѣпи и поддерживаютъ поперечины мостоваго полотна: онѣ показаны на чер. 263. Онѣ не должны быть



Черт. 263.

просто положены на устой, а прикрѣплены къ нему, потому что при нѣкоторыхъ положеніяхъ временнаго груза одинъ изъ концовъ фермы можетъ приподняться вверхъ. Но вмѣстѣ съ тѣмъ ферма не должна быть неподвижна въ направленіи у устоя. Для того чтобы она могла дѣйствовать наилучшимъ образомъ, она должна имѣть вязку по срединѣ пролета и дѣлиться тутъ на двѣ половины, соединенныя болтомъ достаточной крѣпкости для сопротивленія сдвигающему дѣйствію груза, которое мы тотчасъ опредѣлимъ. Это дѣлается для того чтобы уничтожить напряженіе, производимое прогибомъ и удлиненіемъ цѣпи.

Наибольшій моментъ сгиба вспомогательной фермы про-

изводится половиной подвижнаго груза, занимающей половину пролета; а наибольшее сдвигающее дѣйствіе, имѣющее мѣсто у центральной вязки и у каждой опорной точки равно одной восьмой временнаго груза, расположеннаго на всемъ мосту. Это выражается формулами:

$$M = \frac{w' x^2}{16} \ldots\ldots (7.)$$

$$F = \frac{w' x}{4} \ldots\ldots (8.)$$

здѣсь x есть половина пролета, W' наибольшій временной грузъ на погонный футъ пролета, M моментъ наибольшаго сгиба, дѣйствующаго въ вспомогательной фермѣ, F наибольшее сдвигающее усиліе.

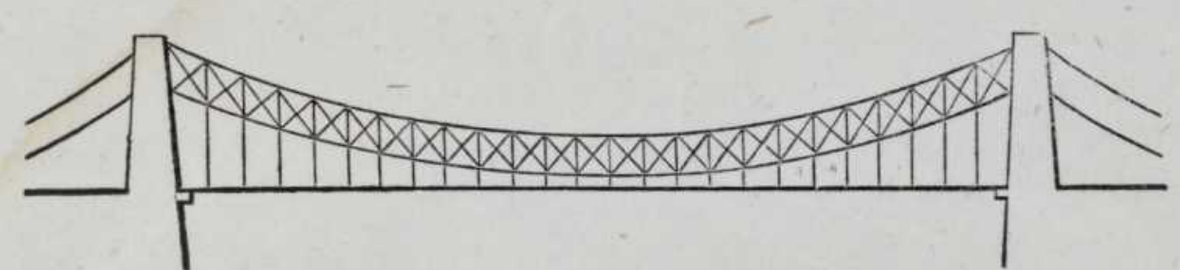
Слѣдовательно каждая полуферма должна быть проэктирована какъ ферма, имѣющая отверстіе x и обремененная равномѣрнымъ грузомъ $w' : 2$ на погонную единицу длины: при этомъ должно обратить вниманіе на то, что грузъ этотъ можетъ дѣйствовать то вверхъ, то внизъ и слѣдовательно составныя части фермы могутъ служить попеременно то распорками, то струнами при одинаковыхъ напряженіяхъ.

При непрерывной фермѣ, не имѣющей вязки по срединѣ прелета, моментъ сгиба будетъ

$$M = \frac{w' x^2}{14} \ldots\ldots (9.)$$

а для того чтобы не дѣлать большихъ вычисленій можно дать всей средней половинѣ фермы поперечное сѣченіе, расчитанное по этому моменту.

2. *Діагональные раскосы между двумя цѣпями.* Система представлена на чер. 264. Для того чтобы обѣ цѣпи



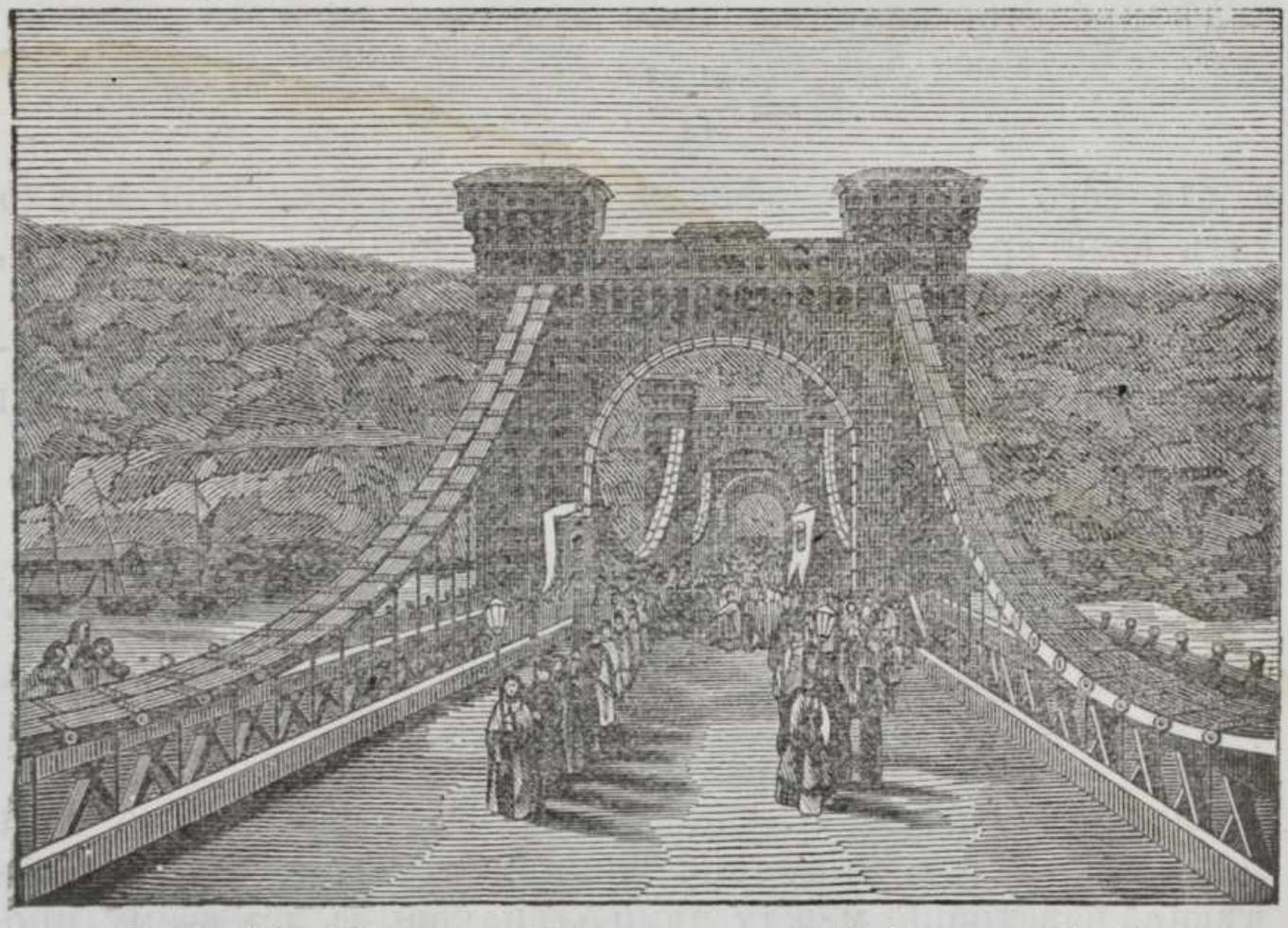
Черт. 264.

одинаково измѣнялись отъ температуры, надобно имъ дать один- ко кривизну или иначе говоря сдѣлать отвѣсное разстояніе между ними одинаковымъ по всему про-

лету. Если это отвѣсное разстояніе равно половинѣ стрѣлы кривизны каждой цѣпи, то нѣтъ надобности прибавлять къ цѣпямъ больше того матеріала, какой нуженъ имъ для выдержанія временнаго груза, распредѣленнаго по всему мосту. Діагональные раскосы должны быть такъ расчитаны, чтобъ могли служить попеременно распорками и струнами при напряженіяхъ, расчитанныхъ какъ для вспомогательной фермы.

При этомъ устройствѣ издержится меньше матеріалу нежели при вспомогательныхъ фермахъ; но вѣроятно оно будетъ менѣе прочно, потому что при измѣненіи длины цѣпей отъ перемѣнъ температуры вязки раскосовъ будутъ подвергаться напряженіямъ и ослабѣвать.

3. *Діагональные раскосы между цѣпями и полотномъ.* При такомъ устройствѣ цѣпь надобно разсматривать какъ опрокинутую дуговую ферму съ раскосами въ наддужной части, но съ силами, дѣйствующими въ противную сторону такъ что формулы § 380 и уравненія (3, 4, 5) § 379 могутъ быть здѣсь употреблены. Этотъ способъ приданія жесткости будетъ дѣйствителенъ въ томъ только случаѣ когда вѣсъ мостоваго полотна имѣетъ къ временной нагрузкѣ такое отношеніе, что ни одинъ изъ при-



Черт. 265. Николаевскій мостъ черезъ Днѣпръ въ Кіевѣ

вѣсныхъ прутьевъ не можетъ подвергнуться распору, а для этого выраженіе (4) должно быть отрицательнымъ или нулемъ для каждаго прута. Недостатки этого способа тѣже, что и предъидущаго.

4. *Жесткія цѣпи.* Г. Коуперъ предложилъ употреблять, вмѣсто цѣпей или канатовъ, жесткія желѣзныя фермы подобныя опрокинутымъ аркамъ.

Теорія дѣйствія груза на такую жесткую цѣпь или натянутую дугу (tension rib) одинакова съ теоріей обыкновенной дуговой фермы (§ 374) съ тою только разницею, что всѣ силы дѣйствуютъ въ противную сторону: распоръ замѣняется натянутостью, а натянутость, если такая есть, распоромъ. Для того, чтобы уничтожить дѣйствіе подвижности устоевъ, измѣненій прогиба и перемѣнъ температуры, такая дуга должна имѣть вязки по срединѣ и въ точкахъ привѣса и тогда формулы § 374 къ ней приложимы, но только съ указанной выше перемѣной.

VII. Главные размѣры нѣкоторыхъ висячихъ мостовъ.

Названіе мостовъ и ихъ строителей.	Величина пролета. Футы.	Стрѣла. Футы.	Отношеніе пролета къ стрѣлѣ.	Число цѣпей.	Дѣйствительная площадь сѣченія. Кв. дюймы.	Средній вѣсъ погоннаго фута цѣпи. Пуды.	Постоянный грузъ на погонный футъ. Пуды.	Толщина быковъ въ плоск. полотна. Футы.	Толщина устоевъ въ плоск. полотна. Футы.	Ширина полотна. Футы.
Уньонъ (круглыя звѣнья) Броунъ.	449	30	14.9	6	38	3.57	—	17.5	—	18
Менейскій (плоскія звѣнья) Тельфордъ.	570	43	13.26	16	260	24.37	—	29	—	28
Чельси (плоскія звѣнья) Педжъ.	183 348 183	29	12	4	по срединѣ 214 у быковъ 230	21.25	—	19 (чугунные)	77	47
Пестскій (плоскія звѣнья) Кларкъ.	298 666 298	47.6	14	4	по срединѣ 486 у быковъ 507	46.80	273.92	30	140	46
Бамбергскій (плоскія звѣнья).	211	14.14	14.9	4	40.2	3.79	43.78	15.25	—	30.5
Фрейбургскій (проволока) Шалей.	870	63	13.84	4	49	4.62	21.05	20	—	21.25
Ніагарскій водопадъ (проволока) Реблингъ.	821.3	верхніе канаты 54 нижніе канаты 64	15.21 12.83	4	241.6	22.71	56.27	—	—	24
Ніагарскій (проволока) Серель.	1040	75	13 87	10	42	3.93	43.78	15.25	—	30.5

383. Отношеніе вѣса къ нагрузкѣ въ желѣзныхъ мостахъ. Въ § 167 изложены были правила, по которымъ можно приблизительно опредѣлять вѣсъ балки, назначенной для поддержанія даннаго груза прежде начертанія балки. Они приложимы къ простымъ балкамъ, въ которыхъ каждая частица матеріала оказываетъ прямое сопротивленіе сгибающему и сдвигающему дѣйствію груза. Въ большихъ желѣзныхъ мостахъ есть много частей, которыя прямаго сопротивленія не оказываютъ, а связываютъ и подпираютъ другія части и по этому суть также существенныя составныя части; вѣсъ ихъ въ разныхъ мостахъ различенъ и увеличиваетъ вѣсъ моста отъ полутора до двухъ разъ.

Чтобы судить объ отношеніи вѣса моста, т. е. его фермъ, къ постороннему грузу въ какомъ нибудь мостѣ, надобно имѣть слѣдующія данныя, относящіяся къ существующему мосту подобнаго устройства съ предполагаемымъ:

l величину пролета; B вѣсъ фермъ моста полный или на погонный футъ пролета; s_2 коефиціентъ благонадежности; относящійся къ этому грузу, напримѣръ 3; W' наибольшій временный грузъ полный или на погонный футъ; s_1 коефиціентъ его благонадежности, напримѣръ 6. Этотъ временный грузъ не надобно брать по дѣйствующему въ мостѣ грузу, а расчитать по формулѣ

$$W' = \frac{W - s^2 B}{s_1} \quad \ldots\ldots (1.)$$

здѣсь W означаетъ грузъ, который по расчету, можетъ разрушить мостъ.

По этимъ даннымъ опредѣлите величину L

$$L = l\left(1 + \frac{s_1 W'}{s_2 B}\right) \quad \ldots\ldots (2.)$$

Для другаго моста того же устройства вѣроятное отношеніе вѣса моста къ наибольшему дѣйствующему грузу будетъ

$$\frac{B}{W'} = \frac{s_1}{s_2}\frac{l}{L - l} \quad \ldots\ldots (3.)$$

Если положить $s_1 = 6$; $s_2 = 3$; то эти формулы обращаются въ

$$L = l\left(1 + 2\frac{W'}{B}\right) \quad \ldots\ldots (4.)$$

$$\frac{B}{W'} = \frac{2\,l}{L-l}$$

Вотъ нѣсколько примѣровъ величины L въ футахъ.

Для трубчатыхъ мостовъ съ разрывными фермами; высота фермы 1—16-я величины пролета, какъ въ Конуейскомъ мосту; дѣйствующая масса желѣза составляетъ двѣ трети всей массы.	614
Для трубчатыхъ мостовъ съ непрерывными фермами, высотою въ 1—16-ю отверстія; l величина наибольшаго пролета, какъ въ Менейскомъ мосту	760
Для мостовъ съ фермами Уарена, прерывающимися на устояхъ, съ распорками изъ чугуна; высота около 1—15-й отверстія	670
Для такихъ же мостовъ изъ одного желѣза; высота около 1—10-й отверстія	900
Для желѣзныхъ арочныхъ мостовъ съ подъемомъ въ 1—9-ю отверстія.	630
Для проволочныхъ висячихъ мостовъ; стрѣла въ 1 — 14-ю отверстія; канаты составляютъ 4—10-хъ вѣса моста; крайняя вязкость проволоки 2492 пуда, какъ въ мосту чрезъ Ніагарскій водопадъ	2000

При проэктированіи мостовъ подъ желѣзныя дороги, W принимается обыкновенно въ 1 тонъ или 62 пуда на погонный футъ однаго пути; на мостахъ для обыкновенныхъ дорогъ найбольшая нагрузка есть плотно стоящая толпа людей, которую можно считать вѣсомъ въ 3 пуда на квадратный футъ, какъ сказано въ § 335; по этому W' равно произведенію 3 пудовъ на ширину полотна въ футахъ. Когда черезъ мостъ проходятъ двѣ дороги, желѣзная и обыкновенная, тогда оба груза надобно соединить.

ОТДѢЛЪ V. РАЗНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ.

384. Свинецъ употребляется для кровель (§ 337), для укрѣпленія въ камняхъ желѣзныхъ связей, наполненія пустоты между ними, и иногда для равномѣрной передачи давленія въ камняхъ, напримѣръ между клиньями сводовъ (§ 277). Вязкость и вѣскость его показаны въ таблицѣ при

концѣ первой главы этой части. Онъ плавится при 264° Р. Если свѣжая поверхность свинца подвергается дѣйствію воздуха или воды, то она покрывается тонкимъ сѣрымъ слоемъ окиси, которая защищаетъ свинецъ отъ дальнѣйшаго окисленія, если нѣтъ другой кислоты могущей раз-ложить образовавшуюся окись.

385. Цинкъ употребляется для кровель (§ 337); тонкимъ слоемъ цинка покрываютъ желѣзныя вещи для того, чтобы предохранить ихъ отъ ржавчины (§ 330). Свѣжая поверхность цинка въ прикосновеніи съ воздухомъ покрывается тонкимъ слоемъ окиси, которая защищаетъ металлъ отъ дальнѣйшаго окисленія, когда нѣтъ кислоты, которая могла бы разложить окись. Покрытіе цинкомъ или гальванизированіе тонкихъ желѣзныхъ вещей увеличиваетъ ихъ тягучесть, но нѣсколько уменьшаетъ вязкость. Оно производится тщательной очисткой желѣза и приведеніемъ его въ соприкосновеніе съ составомъ изъ окиси цинка и поташа; отрицательный полюсъ гальванической батареи соединяютъ съ желѣзомъ, а положительный полюсъ съ цинковой пластинкой, погруженной въ растворъ. Цинкъ плавится при 288° Р. При температурѣ, нѣсколько высшей краснаго калѣнія, цинкъ испаряется и становится легко сгарающимъ.

386. Олово. Сплавы олова. Олово плавится при 184° Р. Оно сопротивляется окисленію лучше всѣхъ обыкновенныхъ металловъ, кромѣ золота и серебра. Оно быстро соединяется съ желѣзомъ, и жесть приготовляется тѣмъ, что хорошо очищенный желѣзный листъ погружаютъ въ растопленное олово, желѣзо покрывается слоемъ сплава изъ желѣза и олова, которое переходитъ у поверхности въ совершенно чистое олово. Хотя олово очень мягко и тягуче, однакоже многіе изъ его сплавовъ съ другими металлами бываютъ тверже обоихъ металловъ.

387. Мѣдь. Вязкость этого металла, много зависящая отъ способа его обработки, показана въ таблицѣ при первой главѣ; она уменьшается почти до двухъ третей при температурѣ 256° Р. Мѣдь хорошо сопротивляется окисленію, потому что на поверхности ея образуется зеленая или углекислая мѣдь защищающая металлъ отъ кислорода. Это свойство въ соединеніи съ большою крѣпкостью дѣлаетъ его употребительнымъ для скрѣпленія дерева и камней тамъ, гдѣ по важности сооруженій, можно дѣлать зна-

чительныя издержки, такъ какъ мѣдь отъ шести до восьми разъ дороже желѣза.

Мѣдь употребляется также для кровель (§ 337).

388. Бронза есть сплавъ мѣди съ оловомъ, она тверже мѣди, твердость эта увеличивается съ прибавкою олова до нѣкотораго предѣла, при которомъ она становится наибольшею.

Для того чтобы бронза была хорошаго качества относительно акуратности отливаемыхъ вещей, плотности и крѣпкости, надобно наблюдать общее для всѣхъ сплавовъ правило: количество составныхъ частей должно быть пропорціонально химическимъ паямъ металловъ. Когда отъ этого правила отступлено то сплавъ выходитъ не однороднымъ, но смѣсью изъ нѣсколькихъ сплавовъ, имѣющихъ разную степень разширяемости и упругости; въ изломѣ такой составъ тоже не однообразенъ.

Вотъ главные сплавы мѣди и олова, которыхъ химическіе паи суть:

Мѣди	31.5
Олова	59.

Паи.		Вѣсъ.		
Мѣдь.	Олово.	Мѣдь.	Олово.	
6	1	189	59	Колокольный металъ; твердъ и хрупокъ; при охлажденіи изъ расплавленнаго состоянія сжимается на 1—63-ю.
14	1	441	59	Твердая бронза.
16	1	504	59	Бронза или артиллерійскій металъ; при охлажденіи сжимается на 1—130-ю.
18	1	567	59	Мягкая бронза.

Изъ таблицы сопротивленія матеріаловъ видно что бронза или артиллерійскій металъ имѣетъ вдвое большую вязкость противъ хорошаго чугуна, и также вязка какъ красная мѣдь въ болтахъ, но тверже ея. Бронза очень употребительна въ машинахъ. Примѣсь свинца къ бронзѣ очень вредна, уменьшаетъ ея крѣпкость и прочность.

389. Латунь или желтая мѣдь есть сплавъ изъ мѣди и цинка, она слабѣе красной мѣди и бронзы но употребляется часто по причинѣ легкоплавкости и тягучести. Вотъ главнѣйшіе сплавы мѣди съ цинкомъ; химическій пай цинка есть 32.5.

Пан.		Вѣсъ.		
Мѣди.	Цинка.	Мѣди.	Цинка.	
6	1	189	32.5	Твердая мѣдь.
4	1	126	32.5	Ковкая латунь.
2	1	63	32.5	Обыкновенная латунь; при охлажденіи сжимается на 1—60-ю; вязкость показана въ таблицѣ сопротивленія матеріаловъ.
1	1	31.5	32.5	Металлъ Принца Руперта; очень твердъ.

Примѣчаніе. По нѣкоторымъ новѣйшимъ наблюденіямъ плотность стали увеличивается отъ прибавки къ ней небольшаго количества золота при плавленіи.

ГЛАВА VI.

ПОДЗЕМНЫЯ И ПОДВОДНЫЯ СТРОЕНІЯ.

Отдѣлъ I. Тонели.

390. Тонели, по сравненію съ открытыми выемками, требуютъ много времени и издержекъ на устройство и составляютъ неудобную для проѣзда часть дороги, на которой находятся, а потому инженеръ долженъ повозможности избѣгать ихъ постройки. Объ разбивнѣ тонелей говорено было въ § 70.

Пласты земли, сквозь которыя долженъ проходить тонель, надобно тщательно изслѣдовать не только посредствомъ буровыхъ скважинъ и колодцевъ, но также посредствомъ горизонтальныхъ галерей (drifts) вдоль линіи тонеля, устройство колодцевъ и галлерей будетъ потомъ описано.

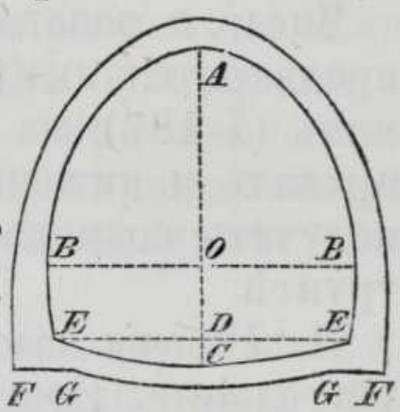
Лучшій грунтъ для рытья тонеля есть скала сплошнія и прочная, но не очень твердая: большая твердость породы увеличиваетъ время и расходы на работу, но не представляетъ особенныхъ затрудненій. Худшія породы суть тѣ, которыя разрушаются и размягчаются отъ дѣйствія воздуха и сырости какъ нѣкоторыя глины; а еще хуже тѣ грунты, которые какъ песокъ и илъ всегда мягки и насыщены водою.

При выборѣ мѣста для постройки тонеля надобно обращать вниманіе не только на грунтъ, на краткость и прямизну тонеля, но также и на возможность достигать до него снаружи посредствомъ колодцевъ и галлерей изъ промежуточныхъ точекъ.

Инженеръ долженъ на сколько возможно избѣгать

криволинейныхъ тонелей; въ особенности такихъ, которыхъ кривизна мѣшаетъ видѣть дневной свѣтъ насквозь.

Объ формѣ тонелей требующихъ каменной или кирпичной одежды для того, чтобы предупредить обвалы грунта и сопротивляться давленію земли говорено было въ § 297; чертежъ 266 представляетъ разрѣзъ описаннаго тамъ элиптическаго тонеля съ опрокуннымъ сводомъ вмѣсто дна: части *F G* и *G F* основанія, поддрживающія боковыя стѣны и ихъ нагрузку, горизонтальны. *O* есть центръ элипса *E B A B E*, *B B* малая ось, *O A C* составляетъ около двухъ третей большой оси.



Чер. 266.

Тонель въ такой скалистой породѣ, которая не требуетъ каменной или кирпичной одежды и принадлежитъ къ числу огненныхъ породъ, можетъ имѣть всякую удобную для проѣзда форму; элипсъ или подкова обыкновенно принимается для стѣнъ и потолка, а дно дѣлается горизонтальнымъ. Въ слоистыхъ породахъ лучшая форма потолка есть стрѣльчатая, хотя употреблялись и плоскіе потолки тамъ, гдѣ слои были толсты и безъ трещинъ.

Обыкновенные тонели имѣютъ слѣдующіе размѣры въ свѣту.

	Высота.	Ширина.
Для желѣзной дороги въ одинъ путь	футовъ 20	футовъ 15
Для желѣзной дороги въ два пути	» 24	отъ 24 до 30
Для судоходнаго канала	отъ 14 до 30	отъ 14 до 30

Тонели для водопроводовъ должны имѣть размѣры не менѣе тѣхъ, при которыиъ человѣкъ можетъ удобно работать, а именно не менѣе $4\frac{1}{2}$ футъ высоты и 3 футъ ширины.

391. Колодцы при тонелѣ бываютъ трехъ родовъ: *пробные* колодцы для изслѣдованія грунта, объ нихъ было говорено въ § 187; *рабочіе* колодцы для доступа въ тонель во время работъ, для доставки матеріаловъ, вытаскиванія земли, выкачиванія воды, доставленія свѣжаго воздуха и выхода испорченнаго; и *постоянные* колодцы, по которымъ въ отстроенный тонель проникаетъ свѣтъ и свѣжій воздухъ, а испорченный воздухъ выходитъ.

I. *Пробные колодцы* роются по оси тонеля или около нея: размѣры ихъ опредѣляются удобствомъ постройки. Шесть футъ есть обыкновенный діаметръ круглаго колодца. шесть футъ длины и четыре ширины даютъ четыреугольному колодцу: первая форма дается при каменной или кирпичной одеждѣ, вторая при деревянной.

Число и разстояніе пробныхъ колодцевъ опредѣляются предварительнымъ буреніемъ, какъ для глубокихъ выемокъ (§ 187); на это неможетъ быть никакихъ общихъ правилъ и инженеръ располагаетъ колодцы такъ, чтобы получить возможно полныя и обстоятельныя свѣдѣнія объ грунтѣ.

II. *Рабочіе колодцы* могутъ быть тоже круглые и четыреугольные. Поперечные ихъ размѣры бываютъ обыкновенно отъ 6 до 9 футъ; чѣмъ они шире, тѣмъ болѣе матеріала можно по нимъ опускать и поднимать.

Разстоянія между ними бываютъ различны, отъ 20 до 130 сажень.

Случалось что ставили ихъ и чаще напримѣръ черезъ 10 сажень, когда оказывалось нужнымъ сильное провѣтриваніе; бывало и на оборотъ, что толщина слоя земли надъ тонелемъ не позволяла сдѣлать ни одного колодца. Примѣръ такого случая представляетъ тонель сквозь Монъ-Сени, который будетъ длиною въ 12 верстъ: его приходится вести съ обоихъ концовъ безъ помощи колодцевъ.

Линія рабочихъ колодцевъ можетъ идти по оси тонеля или въ сторонѣ отъ нея, но вездѣ въ одинаковомъ разстояніи, т. е. параллельно ей: послѣднее расположеніе удобнѣе тѣмъ, что снаряды для подниманія земли, опусканія матеріаловъ, отливанія воды и т. п. находятся въ сторонѣ отъ работъ.

Когда колодецъ дѣлается съ тою цѣлью, чтобъ чрезъ него выкачивать воду, которая заливаетъ тонель, то дно его должно быть ниже дна тонеля: вода поднимается насосомъ или воротомъ съ бадьями. Лучшее устройство бадьи есть съ вертлюгами, помѣщенными почти противъ ея центра тяжести; вертлюги эти обхватываются концами стремени при подъемномъ канатѣ. Когда бадья внизу, то она удерживается въ отвѣсномъ положеніи чекою; послѣ поднятія бадьи, чеку можно вынуть, бадья тогда легко опрокинется и вода изъ нея выльется.

III. *Постоянные колодцы.* Рабочіе колодцы могутъ быть

обращены въ постоянные, надобно только обложить ихъ бока камнемъ или кирпичемъ, основаніемъ такой одежды служитъ каменное или чугунное кольцо (curb), окружающее круглое отверстіе въ сводѣ тонеля. Верхнее отверстіе постояннаго колодца должно быть покрыто рѣшеткою и окружено стѣною, возвышающеюся надъ землею. Этимъ колодцамъ даютъ иногда діаметръ не только равный, но даже и превышающій ширину тонеля. Колодцы тонеля подъ Темзою имѣютъ 50 футъ въ діаметрѣ; самый же тонель состоитъ изъ двухъ галлерей 14 футовой ширины; общая ширина обѣихъ галлерей съ кирпичной кладкой есть $37\frac{1}{2}$ футъ.

IV. *Рытье колодцевъ въ скалѣ* производится просто взрываніемъ и выломкою камня, какъ сказано въ § 207. Что бы защитить рабочихъ отъ вреднаго дѣйствія взрыва, надобно ихъ поднимать на высоту 50 или 60 футъ надъ горномъ. Вредные газы, отдѣляющіеся при сгараніи пороха частью разсѣеваются водою, которая вливается посредствомъ бадьи; но гораздо лучше, въ особенности при глубокомъ колодцѣ, выводить газы желѣзною трубою къ печкѣ или къ вытяжному вентилятору, или наконецъ вдувать въ колодезь свѣжій воздухъ посредствомъ вентилятора.

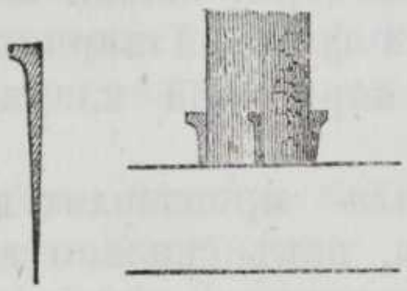
Вентиляторы необходимы если вредный воздухъ, какова углекислота или гремучій газъ, выдѣляются изъ пластовъ, которые проходятся колодцемъ.

Когда вода просасывается въ колодецъ, то ее надобно собирать въ цистерну на днѣ его; діаметръ цистерны долженъ быть меньше діаметра колодца. Вода поднимается изъ цистерны насосомъ или бадьями на поверхность земли или къ галлереѣ, по которой отводится въ сторону.

V. *Устройство деревянныхъ колодцевъ.* Проходящій сквозь мягкій грунтъ или мягкую скалу колодецъ долженъ быть одѣтъ деревомъ, кирпичемъ или камнемъ.

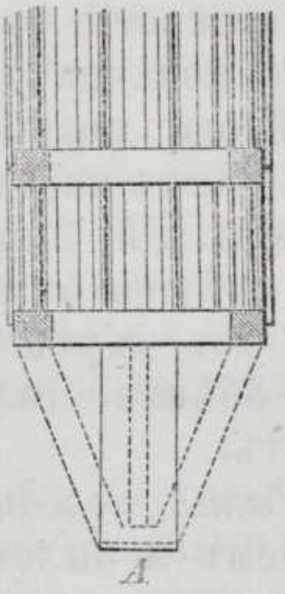
Главныя составныя части деревянной одежды колодцевъ, галлерей, тонелей и вообще подземелій, суть *стойки* (props) отвѣсныя или наклонныя обыкновенно изъ круглаго лѣса, *лежни* и *перекладины* (sills and bars), горизонтальные брусья или бревна и наконецъ обшивочныя и потолочныя *доски*. Стойки соединяются съ лежнями безъ вязки простою постановкою стойки на лежень, на которомъ она удерживается *костылями* (brobs) имѣющими 6 дюймовъ длины (чер. 267): голова у костыля такая, что его легко

вбить и вынуть. Чертежъ 268 представляетъ укрѣпленіе стойки на лежнѣ четырьмя костылями, изъ которыхъ тутъ показано только три, а четвертаго не видно.



Чер. 267.

Чер. 268.



Чер. 269.

Чертежъ 269 есть разрѣзъ одѣтаго деревомъ квадратнаго колодца 9 футъ въ сторонѣ. Одежда состоитъ изъ рамъ или *пяльцевъ* (settings), помѣщаемыхъ черезъ каждые 6 футовъ или около того; каждые пяльцы состоятъ изъ четырехъ брусьевъ, 12 дюймовой толщины; поддерживающія ихъ стойки имѣютъ 8 или 9 дюймовъ въ діаметрѣ; за пяльцами находится обшивка изъ досокъ 3 дюймовой толщины. Послѣ вырытія колодца на такую глубину, при которой земля можетъ держаться отвѣсно нѣсколько времени, и обдѣлки его досками, работа продолжается слѣдующимъ образомъ. По срединѣ колодца дѣлается небольшая выемка до той глубины, на которой должы быть заложены пяльцы, на днѣ ея кладется маленькая досчатая платформа *A*, въ которую упираются наклонныя подпорки, поддерживающія послѣдніе пяльцы; подпорки эти показаны на чертежѣ пунктиромъ. Потомъ выемка уширяется до размѣровъ колодца, на дно ея кладутъ пяльцы, позади которыхъ ставятся обшивочныя доски; между пяльцами загоняютъ стойки и вынимаютъ платформу и временно поставленныя наклонныя распорки. На днѣ колодца роется снова выемка и такъ далѣе. Надобно заботиться о томъ, чтобы земля плотно прилегала къ обшивочнымъ доскамъ, если есть ключи, которые, размывая грунтъ, будутъ его уносить сквозь щели между обшивочными досками и образовать за ними пустоты, то надобно эти пустоты наполнять соломою.

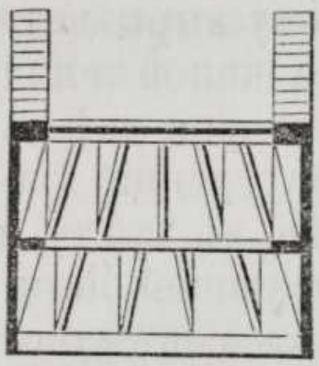
VI. *Каменная или кирпичная обдѣлка колодцевъ* подводится снизу или нагружается въ него сверху.

При подведеніи (underpinning) кладки снизу вырывается въ землѣ круглая яма такой глубины, на какой земля можетъ держаться нѣсколько времени отвѣсно; на днѣ ея кладется плоское кольцо (curb), котораго внутренній діаметръ равенъ діаметру обдѣланнаго колодца въ свѣту, а ширина равна толщинѣ каменной обдѣлки, бывающей обыкновенно въ одинъ кирпичь. Кольцо это дѣлается изъ дубовыхъ досокъ толщиною отъ 3 до 4 дюймовъ, положенныхъ въ одинъ или два ряда; въ первомъ случаѣ доски скрѣпляются въ стыкахъ желѣзными скобами, во второмъ стыки располагаются въ перевязку и доски одного ряда связываются съ досками другаго посредствомъ гвоздей или болтовъ. На этомъ кольцѣ выводится каменная обдѣлка, имѣющая форму цилиндра, на гидравлическомъ растворѣ или цементѣ, до поверхности земли. По срединѣ ямы вырывается потомъ выемка подобно тому какъ сказано въ V статьѣ этого параграфа; на дно ея кладутъ нѣсколько большихъ камней, въ которыя упираютъ наклонныя распорки, поддерживающія кольцо и выведенную часть кладки. По уширеніи этой выемки до одинакихъ размѣровъ съ верхнею частью колодца, на дно кладется новое кольцо одинакихъ размѣровъ съ первымъ и отвѣсно подъ нимъ; на немъ выводится опять кладка до прежде устроенной. Затѣмъ снимаютъ наклонныя распорки, вынимаютъ камни со дна выемки, роютъ новую яму и такъ далѣе. Надобно заботиться о томъ, чтобы земля плотно прилегала къ каменной кладкѣ и чтобы одежда выводилась отвѣстно.

Погружаемая кладка выводится на высокомъ кольцѣ или барабанѣ (drum curb), который можно сдѣлать изъ дерева или чугуна. Это цилиндръ одинаковаго внѣшняго діаметра съ діаметромъ кладки, внизу онъ заостренъ, а вверху имѣетъ кольцо такой ширины, чтобы каменная обдѣлка могла на немъ помѣститься. Барабанъ можетъ быть усиленъ съ внутренней стороны обручами и наугольниками какъ показано на чер. 270.

По вырытіи ямы на такую глубину, на какой земля можетъ держаться отвѣсно, въ нее опускаютъ барабанъ и начинаютъ выводить на верхнемъ его кольцѣ каменную кладку; новый рядъ можно класть только тогда, когда предъидущій совершенно уложенъ для того, чтобы грузъ

былъ всегда равномѣрно разпредѣленъ по всему кольцу. На днѣ производится выемка и барабанъ подъ тяжестью каменной кладки постепенно опускается, прорѣзывая грунтъ острымъ краемъ: при производствѣ работы надобно заботиться объ томъ, чтобы погруженіе шло непремѣнно въ отвѣсномъ направленіи.



Чер. 270.

Если бы треніе земли объ наружную сторону барабана или каменной обдѣлки стало такъ велико, что перепятствовало погруженію ихъ, то надобно на днѣ вырытаго колодца заложить новый меньшаго діаметра, который погружать подобно первому цилиндру.

VII. *Временная поддержка рабочихъ колодцевъ.* Когда рабочіе колодцы расположены по оси тонеля, тогда при вырываніи земли для тонеля придется уничтожить подпорки, поддерживающія обдѣлку колодца, которая получитъ прочное основаніе только тогда, когда сводъ тонеля будетъ оконченъ. Въ теченіи этого времени обдѣлка колодца должна быть временно поддержана снизу или сверху.

При твердомъ грунтѣ помѣщаютъ выше потолка тонеля на 3 или 4 фута два лежня, толщиною въ 15 дюймовъ и длиною на 10 футъ болѣе нежели ширина тонеля. Каждый лежень можетъ быть составленъ изъ трехъ отдѣльныхъ брусьевъ, сращиваемыхъ послѣ положенія на мѣсто; для помѣщенія ихъ прорываютъ горизонтальныя отверстія въ направленіи перпендикулярномъ къ оси тонеля и заложивши лежень забиваютъ эти отверстія. Разстояніе между лежнями должно быть равно ширинѣ колодца въ свѣту; на лежни кладется брусчатая квадратная рама, поддерживающая нижнее кольцо обдѣлки колодца.

При слабомъ грунтѣ, не допускающемъ подобнаго способа поддержки, лежни кладутся вверху на поверхности земли въ разстояніи меньшемъ нежели ширина колодца; это могутъ быть въ такомъ случаѣ цѣльные брусья. Нижнее кольцо каменной обдѣлки колодца поддерживается брусчатой квадратной рамой, которая посредствомъ четырехъ желѣзныхъ прутьевъ или цѣпей подвѣшивается къ лежнямъ.

Ниже этой рамы обдѣлка колодца должна быть деревянная и замѣняется каменною послѣ окончанія каменной обдѣлки тонеля.

392. Галлереи суть узкіе горизонтальные или наклон-

ные ходы, устроиваемые для изслѣдованія грунта по линіи предполагаемаго тонеля, для отвода воды, для того чтобы облегчить назначеніе и разбивку тонеля, доступъ въ него рабочихъ, перевозу матеріаловъ и т. п.; для послѣдней цѣли кладутъ въ нихъ временныя желѣзныя дороги.

I. *Положеніе головной галлереи* (Heading). Рабочіе колодцы почти всегда соединяются галереей, которая идетъ по оси тонеля или параллельно ей. Иногда галлерея идетъ по оси тонеля, а колодцы расположены въ сторонѣ и тогда отъ нихъ идутъ поперечныя галлереи къ продольной или головной.

Когда тонель идетъ параллельно крутому краю горы, тогда можно замѣнить рабочіе колодцы поперечными горизонтальными галлереями, выходящими на свѣтъ у этого края: но это очень рѣдкій случай.

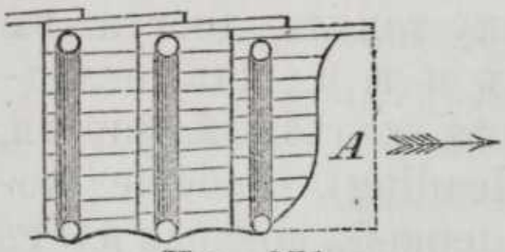
Въ слабомъ и сыромъ грунтѣ головная продольная галлерея должна быть у дна тонеля; въ твердомъ и сухомъ грунтѣ она можетъ быть у потолка.

II. *Размѣры* галлереи должны быть таковы, чтобы можно было въ нихъ работать, а именно не менѣе 3 футъ ширины и 5 футъ высоты.

III. *Рытье* галлереи въ скалѣ производится взрываніемъ ея посредствомъ пороха и выломкою камня (§ 207). Употреблялись также и машины для рытья галлерей. Самая замѣчательная изъ нихъ та, которая дѣйствуетъ въ Монъ Сени: она состоитъ изъ нѣсколькихъ горизонтальныхъ сверлъ, дѣлающихъ около 200 ударовъ въ минуту и приводимыхъ въ движеніе машиною, къ которой сжатый воздухъ доставляется по трубѣ. Воздухъ сжимается и доставляется къ машинѣ гидравлическимъ колесомъ, находящимся у начала галлереи. Какъ при ручной работѣ, сверло поворачивается послѣ каждаго удара. Восемью сверлами пробиваются въ теченіи 6 часовъ работы, отъ 60 до 70 скважинъ глубиною 3 фута и шириною $1\frac{1}{2}$ дюйма въ головѣ галлереи; въ эти скважины кладутся пороховые заряды. Галлерея, имѣющая ширину отъ 10 до 13 футъ и высоту отъ $6\frac{1}{2}$ до 10 футъ, подвигается на три фута въ рабочій день (10 часовъ). Воздуха, который приводитъ въ движеніе машину, достаточно для провѣтриванія галлереи.

IV. *Деревянная обдѣлка* галлерей необходима въ слабомъ и рыхломъ грунтѣ; она состоитъ изъ стоекъ, лежней, перекладинъ и досокъ. Чертежъ 271 представляетъ

галлерею, подвигающуюся въ сторону, означанную стрѣлкой: рамы ставятся въ разстояніи отъ 2 до 3 футъ одна отъ другой и состоятъ изъ бревенъ, имѣющихъ отъ 5 до 6 дюймовъ въ діаметрѣ, легко переносимыхъ и переставляемыхъ однимъ человѣкомъ. На чертежѣ видно, что лежни помѣщены въ ровикахъ, сдѣланныхъ въ полу галлереи, на нихъ установлены стойки, связанныя по верху перекладинами, за брусьями рамы по бокамъ и вверху заложены доски, толщиною отъ $^3/_4$ до 1 дюйма. Въ сыпучемъ пескѣ или грунтѣ содержащемъ воду, доски кладутся и по полу галлереи, такъ что она со всѣхъ сторонъ одѣта деревомъ; за досками кладется солома для того, чтобы не пропускать песку въ щели между ними. Продолженіе галлереи идетъ слѣдующимъ образомъ: заколотите рядъ досокъ въ промежутокъ между послѣднею рамою и передними концами уложенныхъ прежде досокъ, выройти землю и поставте у концовъ вновь заколоченныхъ досокъ новую раму.



Чер. 271.

V. *Предохранительныя буросыя скважины* должны быть просверливаемы въ прямомъ и наклонномъ направленіи, когда ведутъ галлерею въ грунтѣ, гдѣ можно ожидать пустотъ наполненныхъ водою: если быть заранѣе предъувѣдомлену о близости такого водовмѣстилища, то можно принять мѣры противъ залитія работъ водою и отвести ее. Эта предосторожность особенно нужна въ близости старыхъ колодцевъ или подземныхъ галерей, которые обыкновенно бываютъ полны воды.

VI. *Издержки и работа* рытья галлерей со включеніемъ порохострѣльной работы, деревянныхъ обдѣлокъ, отливанія воды, освѣщенія, временныхъ желѣзныхъ дорогъ, вагоновъ и пр. превосходятъ издержки и работу на производство открытыхъ выемокъ въ томъ же грунтѣ отъ пяти до двадцати разъ.

393. Тонель въ сухой и твердой скалѣ, начинается обыкновенно галлереей у потолка его, и потомъ выемка распространяется въ стороны и внизъ выломкою камня и порохострѣльной работой. Производство этой выемки требуетъ отъ 4 до 16 рабочихъ дней на кубическую сажень, смотря по твердости камня.

По изчисленію г. Бекера процентное разпредѣленіе издержекъ рытья тонеля для желѣзной дороги въ юрскомъ известнякѣ, требовавшемъ для выломки 43,88 рабочихъ дней на кубическую сажень, выражается слѣдующими числами:

Плата рабочимъ	45
Порохъ	15
Стопинъ	3
Освѣщеніе	8
Бурильные инструменты . . .	29

Тонель подвигался почти на 1 футъ въ день.

394. Тонель въ сухой разтрескавшейся скалѣ требуетъ каменной или кирпичной сводчатой обдѣлки для защиты отъ паденія обломковъ потолка. Самый удобный ходъ работы будетъ слѣдующій: пробить галлерею или штольню сколь можно ближе къ потолку тонеля, расширить ее въ обѣ стороны и углубить съ обѣихъ сторонъ до дна, оставляя по срединѣ продольную стѣну. Въ эту стѣну можно упереть подпоры потолка, если онѣ понадобятся, на ней же можно основать кружала для постройки свода, котораго кладка слѣдуетъ какъ можно ближе за выемкой. По окончаніи свода и снятіи кружалъ, эта стѣна уничтожается. Всѣ пустоты между грунтомъ и каменной кладкой надобно тщательно наполнить бетономъ.

Каменная кладка въ тонелѣ обходится, включая освѣщеніе, почти вдвое дороже кладки на открытомъ воздухѣ при томъ-же объемѣ.

395. Тонель въ мягкомъ грунтѣ или въ такомъ, который размягчается отъ воздуха или сырости, какъ нѣкоторые роды глинъ, требуетъ временной досчатой одежды для потолка и стѣнъ, устраиваемой на тѣхъже началахъ, какъ одежда галлереи или штольни.

Въ такомъ грунтѣ галлерею надобно помѣщать у дна тонеля, для возможности отводить воду.

Выемка тонеля производится различно: здѣсь будетъ описанъ способъ, употребленный г. Симсомъ при рытьи тонелей Блекинглейскаго въ синей глинѣ и Салтудскаго

въ пескѣ: онъ изложенъ въ его сочиненіи: *Practical Tunneling.*

Тонель роется звѣньями длиною отъ 12 до 15 футъ; вотъ ихъ названія и порядокъ, въ которомъ они вырабатываются:

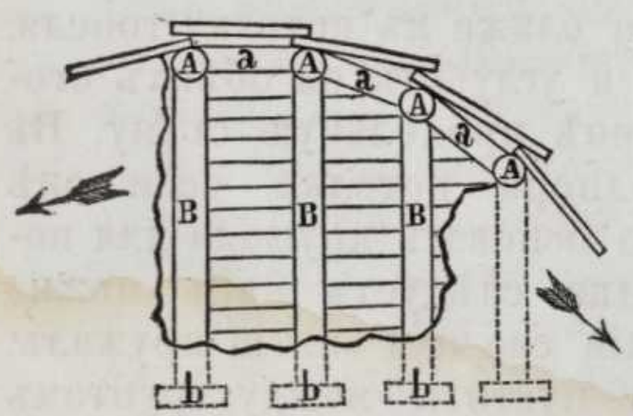
Боковыя звѣнья по сторонамъ рабочей шахты или колодца.

Передовыя звѣнья составляютъ продолженія тонеля отъ боковыхъ звѣньевъ.

Смыкающія звѣнья соединяютъ части тонеля, идущія отъ двухъ шахтъ.

Шахтовыя звѣнья непосредственно подъ шахтами.

Первое дѣло при рытьи одного изъ звѣньевъ первыхъ трехъ родовъ есть проведеніе головной галлереи, которой потолокъ долженъ быть на 1½ или 2 фута выше внутренней поверхности тонельнаго свода.



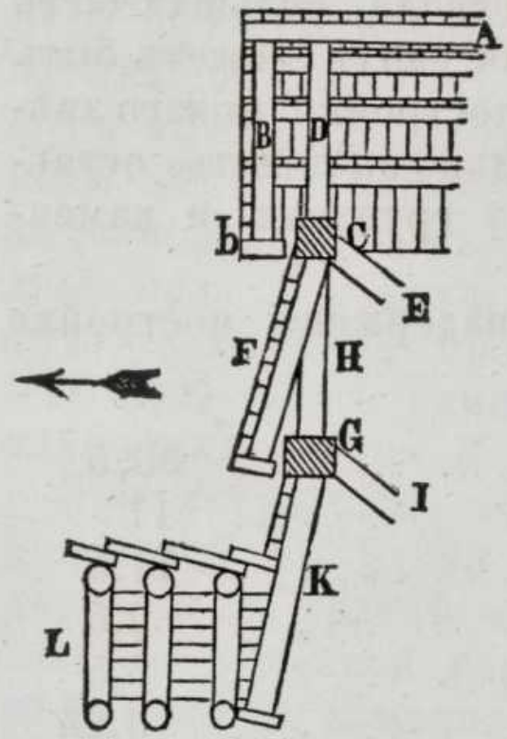
Черт. 272.

Отъ этой галлереи выемка идетъ въ бока и внизъ тѣмъ же способомъ, какъ и выемка галлереи: онъ показанъ на чертежѣ 272, представляющемъ разрѣзъ выемки, разширенной вправо отъ головной галлереи. Земля поддержана досчатой обшивкой, опирающейся на горизонтальныя подушки *A*, 8 или 10 дюймовыя бревна. Задніе концы этихъ подушекъ лежатъ, въ боковыхъ звѣньяхъ, на стойкахъ, утвержденныхъ въ обдѣлкѣ рабочаго колодца; а въ другихъ звѣньяхъ на каменной кладкѣ построенной части тонеля; онѣ удерживаются на мѣстахъ небольшими распорками *a*, между ними помѣщенными. Передніе концы этихъ подушекъ опираются на стойки *B*, подъ которыми есть подкладки *b*.

Чертежъ 273, есть продольное сѣченіе одного звѣна тонеля, съ оконченною досчатою обдѣлкою его: части ея описаны здѣсь въ порядкѣ ихъ укладки и установки.

A подушки, на которыхъ лежитъ досчатая обшивка, *a* распорки между подушками. *B* стойки подъ передними

концами подушекъ, *b* подкладки, за стойками находится досчатая обшивка.



Черт. 273.

Когда выемка доведена до уровня этихъ подкладокъ, тогда кладется лежень *C*, до 13 дюймовъ толщины, онъ состоитъ изъ двухъ бревенъ, сращиваемыхъ послѣ ихъ укладки; лежень этотъ идетъ во всю ширину выемки и концы его входятъ фута на $1^1/_2$ или на 2 въ землю по сторонамъ тонеля. *D* стойки, которыя замѣняютъ *B* въ поддержкѣ подушекъ *A* и опираются на этотъ лежень.

Теперь очищаютъ мѣсто для двухъ или трехъ наклонныхъ распорокъ *E*, 10 дюймоваго діаметра; верхними концами поддерживаютъ онѣ лежень *C*, а нижними упираются въ деревянную обдѣлку колодца при постройкѣ боковаго звѣна или въ гнѣзда каменнаго пола построенной части тонеля при другихъ звѣньяхъ. По мѣрѣ продолженія выемки устанавливаются наклонныя стойки *F*, на подкладкахъ; онѣ примыкаютъ къ лежню *C* и поддерживаютъ досчатую обшивку головы тонеля. Когда выемка углублена до уровня подкладокъ подъ ними, то кладется нижній лежень *G*, подобный *C*, и стойки *F* замѣняются стойками *H*, опирающимися на этотъ лежень. Самый лежень поддержанъ наклонными распорками *I*, такими-же какъ *E*, затѣмъ устанавливаются наклонныя стойки *K*.

L есть часть водоотводной галлереи у пола.

Полъ выемки обдѣлывается тщательно для принятія обратнаго свода, составляющаго основаніе каменной кладки; уровень его назначается по правиламъ § 70. Кладка обратнаго свода и стѣнъ тонеля производится при помощи лекалъ, какъ сказано въ § 252; а потолочный сводъ выводится на кружалахъ, о трехъ ребрахъ на каждое звѣно: лучше всего дѣлать ребра желѣзныя съ винтами подъ каждой подушкой опалубки. Кружала опираются на поперечные лежни, которые поддержаны стойками укрѣп-

ляемыми въ полу, и входятъ концами въ гнѣзда боковыхъ стѣнъ, задѣлываемыя послѣ снятія кружалъ.

Послѣ окончанія каменной кладки свода, большая часть потолочныхъ подушекъ, лежащихъ на сводѣ можетъ быть подвинута впередъ и служитъ для постройки новаго звѣна; тѣ подушки, которыя затруднительно вытащить, оставляютъ на мѣстѣ. Промежутки между грунтомъ и каменной кладкой надобно забить.

Вотъ процентное распредѣленіе издержекъ постройки Блекмнглейскаго тонеля.

Матеріалы:	Кирпичь	30,5
	Известковой растворъ	11
	Дерево	11,5
	Желѣзо	2,5
	Разные	6,5
Работы:	Колодцы, галлереи	3,25
	Выемка тонеля	15,75
	Каменная работа	12
Побочные расходы:	Входы въ тонель, машины, водоотводъ, надзоръ и пр. . . .	7

Тонель имѣетъ въ ширину и высоту по 24 фута, толщина каменной кладки отъ 1.875 до 3 футъ; поперечный его разрѣзъ представленъ на черт. 266.

396. Фронтъ тонеля. Дренажъ. Фронтъ тонеля состоитъ изъ стѣны надъ сводомъ и крыльевъ по обѣимъ его сторонамъ, подобныхъ крыльямъ при устояхъ мостовъ. Чтобы обезпечить щеку свода отъ разрушенія напоромъ земли, ее можно связать желѣзными тяжами съ подковообразнымъ чугуннымъ ребромъ, заложеннымъ въ каменной кладкѣ свода тонеля въ разстояніи отъ конца, равномъ высотѣ тонеля.

Когда полъ тонеля не имѣетъ формы опрокинутаго свода, тогда отводъ воды производится боковыми канавами, какъ вообще въ выемкахъ; при обратномъ сводѣ водосточная труба помѣщается по срединѣ тонеля; поверхность свода можетъ служить дномъ трубѣ.

Надъ лицевою стѣною тонеля надобно помѣстить канаву параллельную ея карнизу для отвода нагорной воды.

397. Тонель въ плывучемъ грунтѣ. Знаменитый тонель Брюнеля отца подъ Темзою есть прямоугольная каменная масса, выведенная на цементѣ, ширина ея 37 1/2 футъ, а высота 22 фута; она вмѣщаетъ два сводчатыхъ продольныхъ коридора, 14 футъ ширины и 17 футъ высоты, соединяющихся между собою въ нѣсколькихъ мѣстахъ поперечными арками. Наименьшая толщина каменной кладки въ ключахъ арокъ и опрокинутыхъ сводахъ пола 2 1/2 фута, толщина боковыхъ стѣнъ тонеля 3 фута, а толщина продольной стѣны между коридорами 3 1/2 фута. Подъ каменной кладкой лежитъ ростверкъ изъ ильмовыхъ досокъ 3 дюймовой толщины.

При устройствѣ тонеля вмѣсто деревянной обдѣлки описанной въ § 395 употребленъ былъ щитъ, который двигался въ головѣ выемки въ разстояніи 8 футъ передъ головою каменной кладки. Щитъ этотъ имѣлъ тѣ-же размѣры что и каменная масса въ поперечномъ разрѣзѣ. Онъ состоялъ изъ двѣнадцати башень поставленныхъ, одна возлѣ другой и имѣвшихъ независимое другъ отъ друга движеніе на небольшомъ разстояніи (6 дюймовъ). Каждая башня шириною 3 фута для того, чтобъ были малые промежутки въ 1 дюймъ, между ними; она содержала три скамьи для работниковъ, помѣщенныя одна подъ другою. Подъ башней были двѣ чугунныя ступни, упиравшіяся въ досчатый ростверкъ; на нихъ опиралась башня колѣнчатыми ногами, которыхъ длина измѣнялась посредствомъ винтовъ. Потолокъ башни, сдѣланный изъ желѣза простирался назадъ до каменной кладки, вверху и внизу ея были двѣ пары винтовъ, упиравшихся въ голову каменной кладки, для того чтобы подвигать башню впередъ. Башни соединялись между собою висячими, почти отвѣсными, колѣнчатыми рычагами для того, чтобы каждая могла повиснуть на сосѣднихъ, когда это нужно. Съ боковъ щита были желѣзныя доски шедшія назадъ къ каменной кладкѣ, онѣ поддерживали землю съ боковъ выемки. Впереди каждой башни во всю ея высоту была обшивка изъ деревянныхъ горизонтальныхъ досокъ шириною 6, а толщиною 3 дюйма, каждая доска прижималась къ землѣ винтами, которыхъ другіе концы упирались въ бока башни.

Вотъ очеркъ производства выемки при помощи этого

щита: выньте верхнюю обшивочную доску впереди башни, и отройте находящуюся за ней землю на 3 дюйма впередъ, поставьте опять доску и прижмите ее винтами къ грунту, упирая винты въ бока сосѣднихъ башень, доска будетъ теперь на 3 дюйма впереди нижнихъ досокъ, которыя такимъ-же образомъ всѣ перемѣщаются на 3 дюйма впередъ и упираются въ бока сосѣднихъ башень. Поднимите теперь винтами колѣнчатыхъ ногъ ступни башни, она повиснетъ на рычагахъ, связывающихъ ее съ сосѣдними, теперь можно передвинуть всю башню на 6 дюймовъ впередъ длинными винтами, упирающимися вверху и внизу въ голову каменной клади, опустите ступни; прежде эта башня была позади другихъ на 3 дюйма, теперь она будетъ на 3 же дюйма впереди. Послѣ этого надобно досчатую обшивку подвинуть еще на 3 дюйма впередъ прежнимъ способомъ, но упирать винты каждой доски не въ сосѣднія, а въ свою башню. Такъ поступаютъ одновременно съ шестью башнями черезъ одну, потомъ также точно съ шестью другими башнями, стоящими въ промежуткахъ. Щитъ подвигается въ каждый пріемъ на столько, чтобы очистилось позади его мѣсто для укладки одного звѣна каменной одежды тонеля: при производствѣ каменной кладки позади которой нибудь башни досчатая обшивка, передъ нею находящаяся, должна упираться винтами не въ нее, а въ сосѣднія башни для того, чтобы можно было снять большіе упорные винты на время производства этой части одежды. При освобожденіи крайней башни отъ обшивки, доски ея упираются временно въ желѣзныя доски по бокамъ тонеля.

Объ устройствѣ колодцевъ или шахтъ, говорено было въ § 391. Ротергайтская шахта была опущена на 38 футъ на кольцѣ, потомъ на такую-же глубину опускалась она подведеніемъ кладки снизу. Уатингская шахта опущена на всю глубину 72 футъ на кольцѣ.

ОТДѢЛЪ II. ДЕРЕВЯННЫЯ, ЖЕЛѢЗНЫЯ И ПОДВОДНЫЯ ОСНОВАНІЯ.

398. Общія начала. Подводныя основанія. Устройство основаній, требующее только земляныхъ и каменныхъ работъ, описано въ III главѣ этой части,

IV отдѣлѣ § 235—239. Въ настоящемъ отдѣлѣ будетъ говориться объ основаніяхъ, въ составъ которыхъ входятъ дерево и желѣзо или которыя производятся подъ водою.

Общія начала, которыхъ должно держаться при устройствѣ обыкновенныхъ основаній, соблюдаются и тутъ, а именно: поверхность основанія должна быть по возможности перпендикулярна къ равнодѣйствующей всѣхъ силъ, и отклоненіе центра давленія отъ центра фигуры основанія не должно превосходить нѣкотораго предѣла. Математическое выраженіе этихъ правилъ дано въ § 236 и 237. При расчетѣ устойчивости сооруженія, котораго нижняя часть залита водою, надобно помнить что давленіе воды на подводную часть производитъ тоже дѣйствіе, что и уменьшеніе вѣса этой части сооруженія на вѣсъ того-же объема воды; или вѣскость подводной части сооруженія надобно считать на 1,73 пуда менѣе дѣйствительнаго на каждый кубическій футъ. (§ 107).

399. Основанія на деревянныхъ ростверкахъ употребляются при грунтѣ мягкомъ и сыромъ, гдѣ нельзя прибѣгнуть къ способамъ, изложеннымъ въ § 239 Изъ европейскихъ деревъ лучшія для ростверковъ суть илимъ и дубъ. Бревна толщиною отъ 10 до 20 дюймовъ кладутся въ 3 футовомъ разстояніи одно отъ другаго, въ два пересѣкающихся ряда и образуютъ рѣшотку, пустоты которой наполняютъ бетономъ: на рѣшотку эту настилается полъ изъ 3 или 4 дюймовыхъ досокъ, на полу выводятъ потомъ каменную кладку. Иногда кладутъ сплоченныя между собою доски въ нѣсколько слоевъ безъ бревенъ. Для того чтобы деревянный ростверкъ могъ долго просуществовать, онъ долженъ быть въ постоянной сырости.

400. Основанія на металическихъ ростверкахъ введены такъ недавно, что нельзя еще дать общихъ правилъ для ихъ постройки. Какъ на примѣръ такого рода ростверка можно указать на флютбетъ Гренджмоутскаго шлюза, по строенный г. Мильномъ; тамъ чугунный обратный сводъ замѣняетъ каменный.

Ширина шлюза 30 футъ, глубина воды 18 футъ 6 дюймовъ; стѣны толщиною около 8 футъ при высотѣ въ 20 1/2 футъ; чугунный сводъ состоитъ изъ ребръ или фермъ же-

лобчатой формы, положенныхъ одно около другого и связанныхъ болтами, которые проходятъ сквозь отвѣсныя ихъ стѣнки; каждая ферма имѣетъ ширины 3 фута и высоты у началъ свода 21 дюймъ, и у ключа 12 дюймовъ; толщина стѣнокъ 2 дюйма, отвѣсныя стѣнки или ребра имѣютъ вверху горизонтальную закраину 4 дюйма ширины. Жолобъ внутри каждой фермы наполненъ бетономъ, и полъ покрытъ рядомъ кирпичей, положенныхъ на растворѣ.

401. Сваи частокомъ забиваются для того, чтобы сжать или уплотнить грунтъ: это круглыя бревна діаметромъ отъ 6 до 9 дюймовъ, длиною отъ 6 до 12 футъ. Онѣ помѣщаются такъ близко одна къ другой, чтобы при забивкѣ одной изъ нихъ не лезли изъ земли забитыя прежде сваи. Прежде забивается наружный рядъ, потомъ слѣдующій за нимъ, подвигаясь постепенно отъ краевъ къ срединѣ. Толща грунта съ забитыми въ нее сваями можетъ быть разсматриваема по отношенію ея объема къ вѣсу сооруженія, какъ масса плотнаго матеріала того же объема, замѣняющая грунтъ, объ чемъ говорено въ § 239. На головы свай можно положить ростверкъ или слой бетона или то и другое.

402. Поддерживающія сваи дѣйствуютъ какъ подпоры, каждая несетъ соотвѣтственную часть вѣса сооруженія. Онѣ могутъ быть забиты сквозь мягкій слой грунта до плотнаго слоя и даже нѣсколько въ него входить; или, если это невозможно, онѣ поддерживаются треніемъ объ мягкій грунтъ. Изъ примѣровъ построенныхъ сооруженій можно кажется назначить слѣдующіе предѣлы для прочной нагрузки сваи:

Для свай, забитыхъ до материка, 27,7 пуда на квадратной дюймъ площади головы.

Для свай, удерживаемыхъ треніемъ объ мягкій грунтъ, 5,5 пуда на квадратный дюймъ площади головы.

Діаметръ поддерживающихъ свай бываетъ отъ 9 до 18 дюймовъ и никогда не долженъ быть менѣе 1—20 доли высоты, разстояніе между осями свай бываетъ около 3 футъ и рѣдко менѣе $2^1/_2$ футъ.

Лучшее дерево для свай есть илимъ, котораго стволъ

долженъ быть прямъ: кора, сучья и другіе выступы на стволѣ должны быть сняты.

Сваи надобно забивать въ землю комлемъ или натуральнымъ нижнимъ концомъ, который завастривается на высоту, въ полтора или два раза превосходящую діаметръ сваи; если въ грунтѣ можно ожидать камней или другихъ твердыхъ веществъ, то надобно насадить башмакъ чугунный или желѣзный и укрѣпить его гвоздями. Вѣсъ башмака бываетъ во 100 разъ менѣе вѣса сваи. На голову сваи, чтобъ она не разщепилась отъ ударовъ бабы, надѣвается желѣзное кольцо или бугиль.

Копры, съ которыхъ забиваются сваи, бываютъ разнаго устройства. Простѣйшій есть *ручной коперъ* (ringing engine), въ которомъ баба, вѣсомъ до 25 пудовъ ходитъ по двумъ деревяннымъ стрѣламъ и привязана къ концу снасти, переходящей черезъ блокъ, помѣщенный вверху копра. Другой конецъ снасти развѣтвляется въ нѣсколько тонкихъ бечевокъ, за которые берутся рабочіе, число ихъ расчитывается такъ, чтобы на каждаго рабочаго приходилось около 1 пуда вѣса бабы. Люди натягивая разомъ бечевки поднимаютъ бабу на 3 или 4 фута и по данному сигналу, разомъ отпускаютъ ихъ такъ, что баба падаетъ на голову сваи. Находятъ что работа идетъ всего успѣшнѣе, если люди послѣ каждыхъ 3 или 4 минутъ отдыхаютъ; при такомъ порядкѣ они могутъ сдѣлать отъ 4 до 5 тысячъ ударовъ въ день.

Въ *машинномъ копрѣ* (monkey engine) баба вѣсомъ 10 или 12 пудовъ, удержанная клещами, обхватывающими ея ушко, поднимается на 10, 15 и болѣе футъ помощью ворота; на верху копра хвосты клещей входятъ въ промежутокъ между двумя наклонными плоскостями, которыя ихъ сжимаютъ, вслѣдствіе чего онѣ выпускаютъ ушко и баба падаетъ на голову сваи; затѣмъ снасть свивается съ ворота, клещи падаютъ на бабу и опять захватываютъ ушко. Воротъ можно приводить въ движеніе людьми, лошадьми или паромъ.

Иногда для забивки свай употребляется паровой молотъ; пробовали также машину, которая основана на подобномъ-же началѣ и въ которой баба поднимается дав-

леніемъ сжатаго воздуха. Баба здѣсь очень тяжелая, пудовъ 60 или 100.

Сваи забиваются въ направленіи отвѣсномъ или наклонномъ, смотря по направленію, въ какомъ стоятъ стрѣлы копра: направленіе это должно быть параллельно давленію.

Если голова сваи ниже того мѣста, до котораго можетъ доходить баба при паденіи, то ударъ передается сваѣ посредствомъ бревна, которое на ней поставлено, и которое называется *подбабкомъ* (punch, dolly).

Согласно лучшимъ авторитетамъ *отбоемъ* сваи или достаточною степенью ея забивки можно считать то, когда она отъ 30 ударовъ 25 пудовою бабою, падающею съ высоты 5 футъ, погружается не болѣе какъ на пятую долю дюйма; т. е. когда это погруженіе требуетъ механической работы въ

$$30 \times 25 \times 5 = 3750 \text{ пудо-футовъ.}$$

Отношеніе между нагрузкою сваи и величиною погруженія ея въ грунтъ отъ одного удара бабою въ предположеніи что она будетъ поддерживаться треніемъ объ грунтъ, можетъ быть выражено уравненіемъ.

Назовемъ W — вѣсъ бабы, h высоту съ которой она падаетъ, S площадь сѣченія сваи, l ея длину, E коефицентъ упругости, x степень погруженія отъ одного удара, P наибольшую безопасную нагрузку.

Механическая работа удара бабы выражается произведеніемъ Wh и распредѣляется слѣдующимъ образомъ:

$\frac{P^2 l}{4ES}$ на сдавливаніе сваи, Px на погруженіе ея.

изъ уравненія $$Wh = \frac{P^2 l}{4ES} + Px$$

получается $$P = \sqrt{\left(\frac{4ESWh}{l} + \frac{4E^2S^2x^2}{l^2}\right)} - \frac{2ESx}{}$$

Сваю бьютъ до-тѣхъ-поръ, пока величина P, выводимая по этой формулѣ, оказывается между 55 и 82 пудами на квадратный дюймъ площади сваи S; а какъ дѣйствительная нагрузка на сваяхъ бываетъ отъ $5\frac{1}{2}$ до $27\frac{1}{2}$

пудовъ на квадратный дюймъ; то коефицентами благонадежности противъ погруженія должно принять числа отъ 3 до 10. Коефицентъ благонадежности противъ раздробленія дерева долженъ быть не менѣе 10.

Сваи вдавливаются въ землю, если это удобно, гидравлическимъ прессомъ.

Когда надъ материкомъ, въ который упираются сваи, находится слой столь рыхлой земли, что боковая ихъ устойчивость сомнительна, тогда набрасываются вокругъ ихъ камни, чтобъ дать имъ боковой упоръ.

Послѣ забивки свай головы ихъ срѣзываются подъ одинъ уровень для принятія ростверка.

Мягкую землю вокругъ головъ свай тогда вынимаютъ на глубину отъ 3 до 5 футъ и замѣняютъ бетономъ, который кладется слоями не толще 1 фута.

Ростверкъ на сваяхъ составляютъ крестообразно расположенныя бревна 10 или 12 дюймовъ толщины, врубленныя въ полдерева одно въ другое надъ сваями и прибитыя къ нимъ ершовыми гвоздями; поверхъ этихъ бревенъ располагается досчатый полъ толщиною въ 3 или 4 дюйма: пустоты ростверка подъ поломъ должны быть наполнены бетономъ. Бревна, лежащія на крайнихъ рядахъ свай, толще другихъ и для принятія досчатаго пола въ нихъ вынимаются четверти, такъ что вся поверхность ростверка гладкая.

Можно сваи утверждать концами въ каменномъ грунтѣ, только должно предварительно сдѣлать въ немъ дыры меньшаго діаметра, нежели сваи.

Лучшая форма *чугунной сваи* есть труба; для того чтобы она не треснула при забивкѣ надобно ставить на нее деревянный подбабокъ, уменьшающій силу удара, но гораздо безопаснѣе ввинчивать эти сваи въ землю, а не вбивать ихъ.

403 Винтовыя сваи изобрѣтены г. Александромъ Митчелемъ, онѣ бываютъ деревянныя или металическія, и для удобства ввинчиванія цилиндрическія или восмигранныя. Винтовая поверхность внизу сваи отливается обыкновенно изъ чугуна и рѣдко дѣлаетъ болѣе одного оборота: діаметръ винта бываетъ отъ двухъ до восьми разъ болѣе діаметра сваи, а ходъ его отъ половины до

четверти діаметра. Ввинчиваніе сваи производится удобнѣе всего живыми движителями, ходящими по полу и дѣйствующими прямо на рычаги, которые идутъ отъ головы сваи.

Какъ на примѣръ употребленія чугунныхъ винтовыхъ свай, можно указать на приведенные въ § 381 быки желѣзно-дорожныхъ мостовъ въ Индіи. Ввинчиваніе производилось при помощи четырехъ рычаговъ 40 футовой длины, къ каждому было припряжено по четыре пары воловъ. Въ этихъ быкахъ наибольшая дѣйствительная нагрузка на каждый винтъ діаметромъ $4^1/_2$ фута, за исключеніемъ воды и земли была слѣдующая: Быкъ 1,550 пудовъ, верхнее строеніе 744 пуда, подвижной грузъ 1,860 пудовъ, всего 4,154 пуда, что составляетъ около 2 пудоръ на квадратный дюймъ горизонтальнаго проложенія винтовой поверхности.

Такъ какъ сваи сидятъ отъ 20 до 45 футъ въ землѣ, то вѣсъ лежащій на нихъ земли простирается отъ 0,4 до 0,9 пуда на крадратный дюймъ и составляетъ отъ одной пятой до половины вѣса поддерживаемаго сооруженія или отъ одной шестой до одной трети полной нагрузки со включеніемъ земли и воды; этотъ выводъ согласенъ съ теоріей, изложенной въ § 237, если уголъ покоя земли принять между 19° и 28°.

Главное назначеніе винтовыхъ свай есть поддержка настилки на сквозныхъ быкахъ деревянныхъ или металическихъ, и такихъ-же жетеяхъ и маякахъ; онѣ также служатъ для замѣны мертвыхъ якорей въ гаваняхъ.

404. Шпунтовыя сваи бьются тѣсно одна возлѣ другой и составляютъ сплошную стѣну, совершенно или почти отвѣсную, которая предохраняетъ окружаемыя ею вещества отъ разсыпанія или отъ подмывающаго дѣйствія воды. Онѣ могутъ быть металическія или деревянныя.

Деревянная свая имѣетъ съ одной стороны *шпунтъ*, а съ другой *пазъ* во всю высоту, которыми она связывается съ сосѣдними сваями; завастривается каждая свая внизу къ той сторонѣ, съ которой находится прежде забитая свая; толщина сваи можетъ быть до 10 дюймовъ, при толщинѣ меньшей 4 дюймовъ ее называютъ *шпун-*

товою доскою; для забивки въ хрящеватый грунтъ конецъ сваи вооружается башмакомъ.

Когда нужно оградить какое-нибудь пространство шпунтовымъ рядомъ, тогда прежде забиваются до отбоя направляющія сваи или версты въ разстояніи 6—10 футовъ одна отъ другой по направленію шпунтовой линіи; къ нимъ прикрѣпляютъ болтами парныя брусья, называемыя *схватками* (String-pieces, wales). Схватки помѣщаются по сторонамъ свай у ихъ головъ и нарубаются на нихъ такъ, чтобы между брусьями оставался промежутокъ, равный толщинѣ шпунтоваго ряда; при возвышеніи головы шпунтоваго ряда болѣе 10 футъ надъ землею, нужны вторыя схватки близко къ поверхности земли.

Шпунтовыя сваи или доски бьются въ промежутокъ схваточныхъ брусьевъ на половину глубины верстовыхъ свай, начиная отъ нихъ и идя къ срединѣ между ими, послѣдняя или средняя шпунтовая свая при забивкѣ дѣйствуетъ какъ клинъ, и сжимаетъ прежде забитыя сваи, находящіяся по сторонамъ ея.

При металическомъ шпунтовомъ рядѣ, верстовыя сваи могутъ быть трубчатыя или желобчатыя (чер. 240). Доски между ними вбиваемыя усиливаются отвѣсными ребрами, боковыя края досокъ имѣютъ такую форму, чтобы образовался при соединеніи ихъ стыкъ въ закрой, нижній край обдѣланъ въ видѣ клина.

При сооруженіи Чельзейскаго моста употреблялись чугунныя верстовыя сваи трубчатыя, плоскія съ наружной и полуцилиндрическія съ внутренней стороны, 12 дюймовъ наружнаго діаметра, съ 1 дюймовой толщиной стѣнокъ при длинѣ 27 футъ. Шпунтовыя доски, тоже чугунныя, были длиною 10 футъ, шириною 6 футъ и толщиною 1 дюймъ; онѣ были усилены отвѣсными ребрами, выступавшими на 4—6 дюймовъ надъ поверхностью доски и расположенными въ разстояніи 10—20 дюймовъ, и однимъ горизонтальнымъ ребромъ тѣхъ-же размѣровъ, какъ и закраина на верху доски.

405. Бетонныя основанія заключаются въ ящикъ, окруженный деревяннымц или металическими шпунтовыми стѣнами, устроенными вышеописаннымъ способомъ,

и состоятъ изъ массы бетона, которой размѣры опредѣляются правилами § 239.

Дѣло начинается съ устройства ящика, который надобно распорками и тяжами, расположенными поперегъ его и по діагоналямъ обезопасить отъ вреднаго дѣйствія давленія воды и жидкаго грунта снаружи или неокрѣпшаго бетона изнутри.

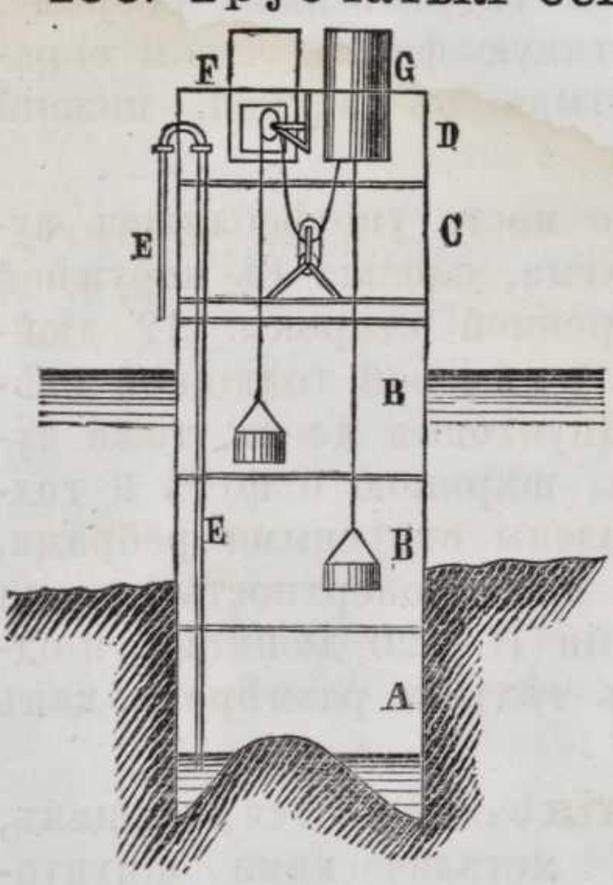
Рыхлый грунтъ со дна ящика долженъ быть вынутъ.

Бетонъ долженъ быть приготовленъ на сильномъ гидравлическомъ растворѣ (§ 230); его кладутъ слоями не толще одного фута и утрамбовываютъ или опускаютъ съ высоты по крайней мѣрѣ 10 футъ. Бетону надобно дать окрѣпнуть, прежде чѣмъ начать на немъ постройку, такъ какъ опыты показали, что сильное давленіе замедляетъ отвердѣніе бетона.

Ящикъ, способствуя производству выемки дна, защищаетъ потомъ бетонную массу отъ тренія и размыва текучею водою; металическій ящикъ можетъ принять даже часть груза сооруженія.

Иногда соединяютъ бетонное основаніе, устроенное въ ящикѣ, съ забитыми до материка сваями, какъ объ томъ сказано въ § 402.

406. Трубчатыя основанія образуются отвѣсными чугунными цилиндрами, внутренность которыхъ наполняется бутомъ или бетономъ, какъ сказано въ § 381.



Черт. 274.

Способъ постройки такого цилиндра и его погруженія въ землю виденъ на чертежѣ 274, который представляетъ отвѣсный разрѣзъ цилиндра. На немъ не показаны во первыхъ, временная досчатая платформа, съ которой опускаются части цилиндра, и на которую выгружается земля, вынимаемая со дна; во вторыхъ, паровая машина и приводимые его въ движеніе нагнѣтательные насосы.

Цилиндры моста черезъ Тейсу имѣли 9,84 фута діаметра, наибольшее ихъ погруженіе было въ 66 футъ подъ уровнемъ воды, что соотвѣтствуетъ тремъ полнымъ атмосферамъ или двумъ атмосферамъ сверхъ давленія воздуха т. е. 32½ футъ на квадратный дюймъ: это наибольшее давленіе, какое можетъ выдерживать человѣкъ безъ вреда для здоровья. Размѣры паровой машины нагнѣтавшей воздухъ были слѣдующіе:

Діаметръ пароваго цилиндра высокаго давленія	8.67 дюйма
» воздушнаго цилиндра	11.82 »
Длина хода поршней, одинакая въ обоихъ цилиндрахъ	0.656 футъ.

Число двойныхъ ходовъ въ минуту отъ 100 до 120, сила машины отъ 10 до 12 паровыхъ лошадей.

По этимъ размѣрамъ видно, что въ минуту нагнѣталось отъ 100 до 120 куб. футовъ атмосфернаго воздуха, число-же рабочихъ внутри погруженнаго цилиндра бывало отъ шести до восьми.

Погружаемые цилиндры составлены были изъ 9 футовыхъ счалковъ съ внутренними закраинами, сквозь которые пропускались связующіе болты. Въ стыкахъ употреблялась извѣстная чугунная замазка, состоявшая изъ 1,000 частей по вѣсу чугунныхъ опилковъ, 10 частей нашатыря, 2 частей сѣрнаго цвѣта и такого количества воды, какое нужно для растворенія нашатыря.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ замазку замѣняютъ кольцомъ изъ волканизованнаго каучука, помѣщаемымъ въ жолобахъ при закраинахъ и дѣлаютъ такимъ образомъ швы непроницаемыми для воды.

На чертежѣ *A* есть нижній счалокъ цилиндра, нижній конецъ его заостренъ для прорѣзыванія грунта, средніе счалки *B B* и второй верху *C* имѣютъ закрайны по верху и по низу, счалокъ-же *A* только по верху для соединенія съ другими счалками. Верхній счалокъ *D* имѣетъ внизу закрайну, а вверху непроницаемую для воздуха крышу; которая можетъ быть плоская или сферическая, она усиливается ребрами для сопротивленія давленію

воздуха и сдѣлана изъ котельнаго желѣза. Счалокъ этотъ можно назвать *шапкой*.

E есть сифонъ, которымъ выдавливаемая сжатымъ воздухомъ вода выходитъ изъ цилиндра, діаметръ ея 2 или 3 дюйма.

F и *G* суть чугунные ящики, сквозь которые люди и матеріалы переходятъ въ цилиндръ и изъ него выходятъ: ихъ можно назвать *воздушными шлюзами* (air locks).

Въ боковой стѣнкѣ каждаго изъ нихъ поверхъ крыши шапки есть дверь, отпирающаяся внутрь шлюза; а ниже этой крыши другая дверь, отпирающаяся внаружу или въ цилиндръ; въ шлюзѣ есть краны, служащіе для впуска воздуха изъ цилиндра въ шлюзъ, и для выпуска его изъ шлюза внаружу; краны эти такъ устроены, что ими можно дѣйствовать изъ внутри цилиндра, изъ шлюза или снаружи.

Отъ нагнѣтательнаго насоса внутрь шапки проведена нагнѣтательная труба съ снабдительнымъ краномъ; при шапкѣ есть предохранительный клапанъ, манометръ и большой клапанъ для внезапнаго выпуска сжатаго воздуха.

На нижней закраинѣ счалка *C* есть платформа съ воротомъ.

На чертежѣ 274 снарядъ представленъ погруженнымъ въ жидкій грунтъ, поверхъ котораго есть вода.

Погруженіе цилиндра имѣетъ сходство съ погруженіемъ каменной кладки на барабанѣ (§ 391) Первымъ дѣломъ должно быть погруженіе на дно счалка *A* со столькими счалками *B*, чтобы цилиндръ выходилъ изъ воды на 2 или 3 фута; потомъ устанавливается счалокъ *C* и шапка *D*. Цилиндръ идетъ сначала въ грунтъ собственнымъ вѣсомъ; когда опусканіе его прекратилось, тогда нагнѣтаютъ въ него воздухъ, который выгоняетъ воду сифономъ *E*. Рабочіе съ инструментами и матеріалами могутъ теперь входить въ цилиндръ и изъ него выходить.

Чтобы войти въ цилиндръ: заприте впускной кранъ шлюза и откройте выпускной; если въ шлюзѣ есть сжатый воздухъ, то онъ выйдетъ внаружу; откройге верхнюю дверь, войдите въ шлюзъ, заприте дверь; закройте выпускной кранъ и откройте впускной; шлюзъ наполнится сжатымъ

воздухомъ изъ цилиндра; отоприте нижнюю дверь и идите въ цилиндръ.

Чтобы выйти изъ цилиндра или шапки: закройте выпускной кранъ, если онъ открытъ и откройте впускной; шлюзъ наполнится сжатымъ воздухомъ и вы войдете въ него сквозь нижнюю дверь, которую надобно послѣ этого запереть, закройте впускной кранъ и откройте выпускной, сжатый воздухъ выйдетъ изъ шлюза наружу и тогда можно будетъ отпереть верхнюю дверь и выйти изъ шлюза.

Нѣсколько рабочихъ, обыкновенно два, опускаются по лѣстницамъ или въ бадьяхъ на дно цилиндра и вырываютъ землю, которая поднимается бадьями на платформу счалка *C* при помощи находящагося тутъ ворота. Другіе рабочіе передаютъ землю въ шлюзъ, откуда она поднимается вторымъ, наружнымъ воротомъ, не показаннымъ на чертежѣ.

Когда земля вынута со дна вровень съ краями цилиндра, тогда землекопы съ инструментами и нижними колѣнами сифонной трубы *E* поднимаются на верхъ, складываютъ вещи на платформу счалка *C* и выходятъ изъ цилиндра. Снабдительный кранъ при трубѣ нагнетательнаго насоса теперь закрывается и большой выпускной клапанъ шапки открывается для выпуска сжатаго воздуха изъ цилиндра, который лишается поддерживавшаго его давленія въ 2 атмосферы изнутри; онъ тогда собственнымъ вѣсомъ погружается на 3 или даже 6 футовъ. Когда погруженіе прекратилось закрываютъ большой выпускной клапанъ, открываютъ снабдительный кранъ; сжатый воздухъ входитъ въ цилиндръ и гонитъ изъ него воду; работа идетъ прежнимъ порядкомъ до-тѣхъ-поръ пока окажется нужнымъ наростить цилиндръ новымъ счалкомъ. Это дѣлается въ такое время, когда плотность воздуха внутри цилиндра одинакова съ атмосфернымъ воздухомъ: отвинчиваютъ шапку, ставятъ новый счалокъ, переносятъ въ него подмости и воротъ изъ счалка *C*, который становится теперь уже промежуточнымъ; увеличиваютъ длину трубы сифона, опускаютъ ее въ цилиндръ и надѣваютъ шапку.

При постройкѣ моста черезъ Тейсу работа производилась смѣнами изъ девяти человѣкъ, работавшихъ по шести часовъ; земли вынималось въ часъ 15 бадей, вмѣсти-

мостью въ 2,43 куб. фута каждая; поэтому 9 человѣкъ въ 6 часовъ производили выемку 36,45 куб. фута или 0,1062 кубической сажени, что составитъ 508 рабочихъ часовъ на одну кубическую сажень.

Весь объемъ вырытой земли, смотря по плотности грунта, бываетъ отъ одного до трехъ разъ болѣе объема цилиндра, который получается умноженіемъ его площади на глубину его погруженія въ землю.

Надобно принимать мѣры къ удержанію цилиндра въ отвѣсномъ положеніи при опусканіи его, что можно сдѣлать посредствомъ направляющихъ стоекъ.

Послѣ окончательной погрузки цилиндра его наполняютъ каменной кладкой, бутомъ или бетономъ (§ 405). Половина работы производится въ сжатомъ воздухѣ, другая на открытомъ, для чего шапка съ цилиндра снимается.

Камень и бетонъ должно тщательно укладывать и утрамбовывать ниже и выше выступающихъ внутрь цилиндра закраинъ его счалковъ.

При очень мягкомъ грунтѣ бываетъ нужно забить сваи внутри цилиндра для поддержанія камня или бетона.

Постройка быковъ моста черезъ Рейнъ у Келя производилась тоже при помощи сжатаго воздуха, но нѣсколько иначе. На днѣ установлено было четыре ящика дномъ кверху; они имѣли въ длину 23 фута, въ ширину 19 футъ, и въ вышину 11 футъ; днища ихъ образовали металлическій ростверкъ для принятія каменной кладки быка; ящики были соединены болтами, проходившими сквозь ихъ продольныя стѣнки. Въ днѣ каждаго ящика, который былъ теперь его потолкомъ оставлено было три круглыхъ отверстія, надъ двумя крайними помѣщены были трубы изъ котельнаго желѣза устроенныя подобно цилиндру показанному на черт. 274, но меньшаго діаметра, а именно въ 5,14 фута, эти трубы назначались для спусканія рабочихъ и матеріаловъ; сквозь нихъ же нагнетался воздухъ въ ящики. Надъ среднимъ отверстіемъ діаметромъ въ 6¼ футовъ выведена была кирпичная труба, внутри ящика было ея продолженіе изъ котельнаго желѣза, котораго нижній край опускался на 1 футъ ниже краевъ ящика. По этой трубѣ поднимали посредствомъ цѣпи съ черпаками вырываемую землю.

Каменная кладка выводилась надъ ящиками по мѣрѣ ихъ погруженія, которое производилось способомъ, подобнымъ выше описанному. Полная погрузка на 66 футовъ произведена была впродолженіи отъ 22 до 58 дней, такъ что одни быки строились медленнѣе, другіе скорѣе, что зависѣло отъ грунта.

Погруженіе металлическихъ цилиндровъ въ землю пневматическимъ способомъ придумано было докторомъ Потсомъ, который вытягивалъ воздухъ изъ внутренности цилиндра; давленіе атмосфернаго воздуха на крышу цилиндра заставляло его погружаться; работа могла идти успѣшно только въ мягкомъ грунтѣ при отсутствіи въ немъ камней или вообще предметовъ, которыхъ труба не можетъ прорѣзать. По способу этому начата была г. Югсомъ постройка моста чрезъ р. Медуей у Рочестера, но цилиндры не могли идти глубоко въ землю, потому что тамъ оказались бревна отъ стараго деревяннаго моста, тогда прибѣгли къ нагнетанію воздуха, придуманному г. Триже въ 1841 году.

407. Основанія на погружаемыхъ колодцахъ подобны описаннымъ передъ этимъ и состоятъ изъ нѣсколькихъ каменныхъ или кирпичныхъ цилиндровъ опускаемыхъ въ слабый грунтъ на барабанахъ по способамъ § 391 до материка.

Колодцы эти наполняются потомъ бутомъ или кирпичемъ и представляютъ сплошныя цилиндрическія опоры для сооруженія.

408. Ящики съ дномъ (Caissons) суть плоскодонныя суда, въ которыхъ выводится часть каменной кладки сооруженія, которое должно находиться въ водѣ, какъ напримѣръ быкъ моста. Днище такого ящика есть горизонтальный ростверкъ такъ устроенный, чтобъ онъ могъ навсегда остаться подъ сооруженіемъ и слѣдовательно по правиламъ § 399. Бока ящика отвѣсны и могутъ быть потомъ сняты. Для принятія этого ростверка приготовляютъ мѣсто производствомъ одной выемки и планировкою дна; или положеніемъ на него слоя бетона; или забивкою свай, срѣзанныхъ подъ одинъ уровень или иначе. Ящикъ приводится къ мѣсту, въ немъ возводятъ каменную кладку, причемъ онъ погружается; влитіемъ въ него

воды можно его окончательно посадить на мѣсто; затѣмъ если кладка выведена выше уровня воды, то стѣны можно разобрать.

Обыкновенный способъ соединенія быковъ съ дномъ ящика есть слѣдующій:

Нѣкоторыя поперечныя брусья днища выступаютъ за стѣны, поверхъ которыхъ помѣщаются противъ нихъ тоже поперечины; стойки стѣнъ связываются съ этими поперечинами такъ, чтобы онѣ могли противостоять давленію воды. На концахъ половыхъ выступающихъ поперечинъ есть крючья, на которыя надѣваются уши длинныхъ болтовъ; верхніе концы болтовъ проходятъ сквозь верхнія поперечины и потомъ на нихъ навинчиваются гайки. Чтобы снять стѣны ящика надобно отвинтить гайки и снять болты съ крючьевъ.

Размѣры брусьевъ дна должны быть тѣ-же, что и для ростверка (§ 399); стойки боковыхъ стѣнокъ расчитываются по наибольшему давленію воды.

Г. Бекеръ при описаніи устройства одного мостоваго быка даетъ слѣдующіе размѣры употребленнаго для этого ящика: длина его 63 фута, ширина 21 футъ, высота 15 футъ; ширина каменной кладки въ ящикѣ была 18 футъ. Поперечины квадратныя 10 дюймовъ въ сторонѣ, расположены чрезъ каждые 2 фута 10 дюймовъ, а разстояніе между осями стоекъ для стѣнъ 5 футъ 8 дюймовъ.

Когда ящикъ погруженъ и окажется, что онъ не на мѣстѣ, то его можно передвинуть, отливъ изъ него часть воды.

409. Перемычки устраиваются вокругъ того мѣста, гдѣ нужно отлить воду, чтобы вывести основаніе или другую постройку: матеріалами для ихъ сооруженія служатъ дерево, желѣзо и глина, иногда гидравлическій бетонъ.

I. *Глиняная перемычка* или валъ можетъ быть употребленъ въ стоячей водѣ при глубинѣ 3 или 4 футъ; прежде чѣмъ сыпать глину, надобно снять илъ со дна на томъ мѣстѣ, гдѣ будетъ перемычка.

II. *Свайная перемычка* состоитъ изъ двухъ параллельныхъ рядовъ простыхъ и шпунтовыхъ свай (§ 404), въ промежуткѣ между которыми находится глиняная стѣна. Насадки на головахъ обоихъ рядовъ свай связываются

поперечинами, на которыхъ настилается полъ для рабочихъ. Простыя сваи каждаго ряда располагаются въ разстояніи 4—5 футъ одна отъ другой. Слабый грунтъ между рядами свай вынимаютъ до плотнаго грунта и замѣняютъ его глиною, которая кладется слоями и трамбуется.

Общее правило для назначенія толщины такой перемычки есть дѣлать ее равною высотѣ, когда она менѣе 10 футъ; при бо́льшихъ высотахъ толщина перемычки увеличивается на одну треть избытка высоты ея надъ 10-ю футами.

При высотѣ перемычки въ двѣнадцать, пятнадцать футъ или около того, бьютъ три, четыре, пять и даже болѣе шпунтовыхъ рядовъ, которые дѣлятъ перемычку по ширинѣ на двѣ, три или болѣе равныхъ частей, толщиною каждая въ шесть футъ. Наружная часть дѣлается во всю высоту, внутреннія ниже, образуя ступени.

Опыты показываютъ, что толщина стѣны отъ двухъ до трехъ футъ изъ чистой глины достаточно непроницаема для воды; излишекъ въ толщинѣ нуженъ для приданія перемычкѣ устойчивости и это тѣмъ болѣе нужно, что между рядами свай нельзя для этой цѣли употребить раскосовъ, которые, въ случаѣ ихъ помѣщенія, служили-бы для воды проводниками сквозь глину.

Другое средство сдѣлать устойчивою перемычку, имѣющую ширину, достаточную только для непроницаемости водою, состоитъ въ установкѣ подкосовъ съ внутренней ея стороны. Верхніе концы подкосовъ должны прилегать къ насадкѣ внутренняго шпунтоваго ряда свай, а нижніе концы должны упираться въ грунтъ, если онъ твердъ или въ нарочито забитыя сваи, когда онъ слабъ.

Назовемъ буквою b длину части перемычки, поддерживаемой однимъ подкосомъ; x глубину воды, w вѣсъ кубическаго фута воды (1,73 пуда прѣсной; 1,77 пуда соленой). По правиламъ § 107 уравненію (9) давленіе воды на эту часть перемычки есть

$$P = w\ b\ x^2 : 2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

а моментъ этого давленія относительно горизонтальной линіи, находящейся у поверхности дна есть

$$M = w\ b\ x^3 : 6 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Пусть h означаетъ возвышеніе надъ дномъ той точки перемычки, къ которой примыкаетъ подкосъ, а i уголъ наклоненія его къ горизонту; распоръ вдоль его будетъ

$$T = M\ Sec\ i : h \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

размѣры бруса, могущаго выдержать этотъ распоръ опредѣляются по уравненіямъ 6, 7 и 8 § 158.

Когда перемычка подвержена дѣйствію волнъ, тогда для полученія величины x въ формулахъ 1 и 2 сложите: высоту спокойной воды съ удвоенною высотою, на которую поднимаются гребни волнъ поверхъ спокойной воды. Въ мелкихъ мѣстахъ у открытыхъ береговъ сумма эта оказывается почти вдвое болѣе глубины низкихъ водъ.

При твердомъ непроницаемомъ водою грунтѣ, доски положенныя горизонтально на ребро между двумя рядами направляющихъ свай могутъ замѣнить шпунтовую линію. Наименьшая толщина такихъ досокъ должна быть $2^1/_2$ дюйма; при разстояніи въ 5 футъ между направляющими сваями эта толщина соотвѣтствуетъ глубинѣ въ 6 футъ; при большей глубинѣ толщина досокъ должна быть увеличена пропорціонально корню квадратному глубины.

На скалистомъ грунтѣ г. Давидъ Стевенсонъ устроилъ перемычку слѣдующимъ образомъ: онъ забилъ въ камень на 15 дюймовъ два ряда желѣзныхъ брусьевъ въ трехъ футовомъ разстояніи, вмѣсто направляющихъ свай; съ внутренней стороны этихъ брусьевъ помѣстилъ онъ опирающіяся на нихъ горизонтальныя доски на ребро и пространство между досками наполнилъ глиною; съ внѣшней стороны находились деревянныя брусья въ горизонтальномъ положеніи на высотѣ 5 футъ одно надъ другимъ связанныя поперегъ перемычки болтами; для приданія устойчивости употреблены были подкосы, какъ выше о томъ говорено.

III. *Перемычка изъ ящиковъ* устраивается на скалистомъ грунтѣ слѣдующимъ образомъ: рядъ ящиковъ или плоскодонныхъ судовъ въ такомъ числѣ и такой формы, чтобъ окружить мѣсто постройки, приводится къ нему вплавь и

утверждается на якоряхъ; ихъ постепенно погружаютъ до дна и съ обѣихъ сторонъ прикрѣпляютъ къ нимъ болтами два ряда отвѣсныхъ бревенъ, которыхъ нижніе концы упираются въ грунтъ. Ящики нагружаютъ камнемъ и водою, чтобъ они повисли на бревнахъ и прижали ихъ къ грунту: тогда ставится третій рядъ брусьевъ съ внутренней стороны параллельно первымъ двумъ и прикрѣпляется къ ближайшему изъ нихъ приличнымъ способомъ. Между этими двумя рядами сыпется глина, удерживаемая съ боковъ досками.

Когда перемычка болѣе не нужна, тогда можно разгрузить ящики, отвести ихъ въ сторону и употребить на другое дѣло. Такъ строились основанія быковъ моста Викторія у Монреаля.

Ящики или плоскодонныя суда, которыя можно, увеличивая нагрузку, ставить на дно, могутъ быть употреблены для огражденія пространства отъ дѣйствія текущей воды.

IV. *Перемычки изъ ряжей* дѣлаются тамъ, гдѣ дерево въ изобиліи. Изъ бревенъ, положенныхъ вдоль и поперегъ устраивается срубъ, имѣющій форму перемычки и на верху его настилается полъ: срубъ приводятъ къ мѣсту вплавь и погружаютъ на дно, наваливая камни на полъ. Ряжи эти могутъ замѣнять ящики въ только что описанномъ способѣ устройства перемычекъ.

V. О *фашинныхъ перемычкахъ* будетъ говориться впослѣдствіи.

410. Выемка земли и порохострѣльная работа подъ водою. Выше описаны были нѣкоторые способы производства выемокъ ниже уровня воды удаленіемъ ея посредствомъ сжатаго воздуха (§ 406) или огражденіемъ мѣста выемки перемычкою, непроницаемою для воды, которая отливается потомъ машинами (§ 409). Теперь будетъ говориться о производствѣ выемокъ безъ отлива воды, а со временемъ и объ томъ, какъ употребить для этого размывающую силу текучей воды.

I. *Ограда выемки.* Когда выемка дѣлается для углубленія русла, она рѣдко требуетъ ограды; но когда вынимаютъ землю для устройства основанія и грунтъ дна размываемъ водою или частицы земли несутся текучею во-

дою, тогда выемка легко можетъ быть занесена и требуетъ ограды, которую дѣлаютъ изъ ящиковъ, ряжей или шпунтовыхъ линій деревянныхъ или желѣзныхъ (§ 404); при употребленіи бетона на устройство основанія шпунтовая линія можетъ служить стѣнкой ящика, принимающаго бетонъ (§ 405).

II. *Ручная выемка* производится черпакомъ или ложкой (Spoon). На концѣ жерди помѣщается желѣзное кольцо, котораго край наваренъ сталью и которое составляетъ отверстіе кожанаго мѣшка; отъ кольца идетъ веревка, наматывающаяся на воротъ. Рабочій держитъ въ рукахъ свободный конецъ жерди и прижимаетъ кольцо ко дну; когда наматываютъ веревку на воротъ, тогда кольцо идетъ по дну и сгребаетъ землю, которая попадаетъ въ мѣшокъ, къ нему привязанный. Когда кольцо дошло до ворота, который продолжаютъ вертѣть, тогда оно съ мѣшкомъ поднимается изъ воды и мѣшокъ можно опорожнить, выбросивъ изъ него землю въ шаланду или судно для земли.

При малой глубинѣ 4—5 футъ, стоимость этой работы не больше стоимости ея на сушѣ при томъ-же грунтѣ; издержки потомъ увеличиваются пропорціонально глубинѣ, а при 10 футахъ этотъ способъ производства работы не приложимъ.

Черпакъ весь изъ желѣза употребителенъ при хрящеватомъ грунтѣ.

III. *Землечерпательная машина* состоитъ изъ двухъ параллельныхъ между собою безконечныхъ цѣпей, къ которымъ прикрѣплены при мягкомъ грунтѣ черпаки, а при твердомъ черпаки и грабли: граблями грунтъ разрыхляется, а черпаками захватывается и поднимается вверхъ. Цѣпи переходятъ чрезъ два барабана, связанные наклонной рамой; верхній барабанъ, находящійся выше поверхности воды, приводится въ движеніе по большей части паровою машиною, иногда людьми или животными, нижній виситъ у дна. Вся машина помѣщается на суднѣ, въ задней части котораго есть по срединѣ прорѣзъ для пропуска рамы съ цѣпями; поднятая черпаками земля принимается помѣщеннымъ въ носовой части судна жолобомъ, который отводитъ ее къ шаландѣ. По показанію

г. Давида Стевенсона землечерпательная машина въ 60 силъ можетъ при благопріятныхъ обстоятельствахъ поднять въ часъ до 9,000 пудовъ земли, т. е. отъ 8 до 9 куб. сажень и работа обходится почти въ ту-же цѣну какъ и выемка подобнаго-же грунта на сушѣ или вдвое; вообще работа тѣмъ дешевле, чѣмъ машина сильнѣе.

IV. *Порохострѣльная работа* подъ водою при малой глубинѣ производится какъ на сушѣ (§ 207); только количество пороху должно быть болѣе, потому что желательно разрывать камни на болѣе мелкіе куски, удобные для подъема изъ воды, помощью черпаковъ. Вѣсъ взрываемаго камня бываетъ въ 5—6 тысячъ разъ болѣе вѣса издержаннаго для взрыва пороха; нитроглицерину нужно въ десять разъ менѣе нежели пороху, и куски на которые разрывается камень бываютъ мельче; дѣйствіе на дно горна или внизъ при нитроглицеринѣ то-же больше, нежели при порохѣ.

Приготовленіе заряда при глубокой водѣ требуетъ употребленія водолазныхъ снарядовъ.

V. *Большіе камни*, не поднимаемые черпаками изъ подъ воды, можно разрывать порохомъ на мелкіе куски, или поднимать храпомъ (§ 251), въ которомъ утвержденіе камня производится при помощи водолазнаго снаряда, а самый храпъ установленъ на суднѣ, куда можно поднять камень, или можно приподнять камень и не вытаскивая его изъ воды. перенести его на другое мѣсто.

411. Водолазные снаряды.

I. *Для одного человѣка* металлическій, обыкновенно мѣдный *шлемъ*, сферической формы, надѣваемый на голову и лежащій на плечахъ; онъ связанъ съ непроницаемою для воды и воздуха одеждою изъ каучука; отъ него идетъ вверхъ длинная гибкая труба съ отворяющимся внутрь клапаномъ для привода воздуха отъ нагнетательнаго насоса, помѣщеннаго выше воды, и другимъ выпускнымъ клапаномъ для выдыхаемаго воздуха, этотъ клапанъ отпирается наружу и помѣщенъ противъ груди водолаза; кромѣ того есть въ шлемѣ стекляныя окна, на высотѣ глазъ; каждое окно должно снабжать клапаномъ, который можно было-бы запереть на случай разбитія стекла. Воздухо-снабдительная труба примыкаетъ

къ задней части шлема и воздухъ идетъ въ немъ согнутою трубою черезъ голову, отверстіе ея находится на высотѣ глазъ; такимъ расположеніемъ устраняется входъ воды въ приборъ, въ случаѣ прорыва въ снабдительной трубѣ.

Для того чтобъ водолазъ могъ опуститься на дно и не плавалъ, къ одеждѣ прикрѣпляются баластъ около 3 пудовъ свинца, частью къ подошвѣ сапоговъ, частью около спины и груди. Водолазъ поднимается обыкновенно вверхъ по веревкѣ; но когда онъ желаетъ вынырнуть вдругъ, то запираетъ выпускной клапанъ, тогда воздухъ раздуваетъ платье и поднимаетъ водолаза на поверхность воды. Для освѣщенія дна, что́ нужно только въ мутной водѣ, употребляется подводный фонарь, который снабжается воздухомъ также какъ и шлемъ, испорченный воздухъ выводится особою трубою.

II. *Водолазный снарядъ Рукейроля* состоитъ изъ металлическаго резервуара для сжатаго воздуха вмѣстимостью около $^1/_4$ куб. фута, помѣщаемаго на спинѣ водолаза, какъ ранецъ; онъ снабжается воздухомъ отъ нагнетательнаго насоса сквозь каучуковую трубу. На верху резервуара есть ящикъ, къ нему припаянный и служащій регуляторомъ; крышка у него эластическая для того, чтобы давленіе воздуха внутри его было всегда одинаково съ давленіемъ окружающей воды. Регуляторъ сообщается съ резервуаромъ посредствомъ клапана, который отпирается въ резервуаръ и связанъ стержнемъ съ его крышкой: когда давленіе воды превосходитъ давленіе воздуха, крышка опускается, открываетъ клапанъ, сжатый воздухъ входитъ въ регуляторъ и равновѣсіе возстановляется, крышка поднимается и клапанъ снова запирается. Отъ регулятора идетъ ко рту водолаза каучуковая дыхательная трубка съ мундштукомъ, который состоитъ изъ каучуковой пластинки съ двумя выступами по сторонамъ отверстія дыхательной трубки. Водолазъ кладетъ пластинку между зубами и губами и захватываетъ зубами выступы при ней: при дыхательной трубѣ есть отверстіе для выпуска выдыхаемаго воздуха съ клапаномъ отпирающимся наружу.

Безъ шлема и каучуковой одежды можно съ этимъ сна-

рядомъ пробыть въ водѣ не болѣе полуторыхъ часовъ; послѣ этого становится холодно и соленая вода ѣстъ глаза; но въ шлемѣ и одеждѣ можно оставаться подъ водою шесть часовъ съ этимъ снарядомъ.

III. *Водолазный колоколъ* имѣетъ форму прямоугольнаго ящика съ округленными углами, 6 футъ длины, 4 ширины и 5 высоты; толщина крыши и верхней части стѣнъ бываетъ два дюйма, къ низу толщину увеличиваютъ до $3^1/_2$ дюймовъ для устойчивости. Вѣситъ онъ обыкновенно болѣе 300 пудовъ и вытѣсняетъ до 200 пудовъ воды; разность вѣса опредѣляетъ силу крана или ворота, которымъ его поднимаютъ и опускаютъ. Въ крышкѣ находится около двѣнадцати круглыхъ оконъ, діаметромъ 8 — 10 дюймовъ, со стеклами двухъ дюймовой толщины. Питательная труба бываетъ діаметромъ въ 3 дюйма. Если количество нагнетаемаго воздуха расчесть потому, что назначается обыкновенно въ публичныхъ залахъ, или потому, что доставляется въ цилиндры при устройствѣ основаній (§ 406), то на человѣка въ минуту нужно 12 куб. футъ воздуха давленіемъ въ одну атмосферу. Сигналы изъ колокола могутъ быть подаваемы посредствомъ шнурковъ или колокольчикомъ.

IV. *Водолазныя суда* бываютъ разнаго устройства, это большихъ размѣровъ колокола, окруженные резервуаромъ сжатаго воздуха, который играетъ ту-же роль, что воздушный пузырь у рыбъ: если накачать въ него воды, то судно станетъ тяжелѣе и тонетъ, а когда открыть кранъ у дна резервуара, то сжатый воздухъ выгоняетъ воду и судно всплываетъ.

412. Производство насыпей и строеній подъ водою. Подводныя насыпи могутъ быть производимы бросаніемъ въ воду матеріала съ помоста, поддержаннаго сваями или судами; матеріалъ этотъ направляется къ мѣсту погруженія подвижною наклонною плоскостью. На насыпь можно употреблять въ текучей водѣ только камни и щебень, причемъ діаметръ кусковъ не долженъ быть меньше одной двадцать четвертой доли скорости воды въ секунду. При употребленіи крупныхъ камней на откосы такого *накиднаго сооруженія* внутренность его можетъ состоять изъ болѣе мелкаго и мягкаго матеріала.

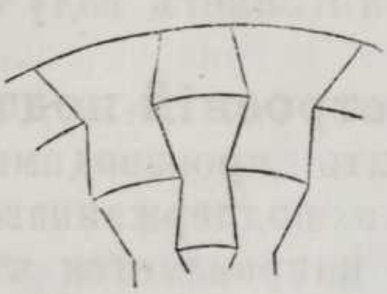
Также гдѣ нѣтъ волненія откосъ изъ накидныхъ камней можетъ имѣть уклонъ отъ 1 до 2 основаній на 1 высоты; но когда строеніе подвержено дѣйствію волнъ, тогда облицовка должна быть произведена ручною работою при помощи водолазныхъ снарядовъ, если это нужно, и тутъ надобно употреблять камни, которыхъ размѣръ былъ бы не менѣе двухъ третей высоты волны.

Накидное сооруженіе можно защитить отъ дѣйствія волнъ и теченій ряжами, погружаемыми на дно раньше накидки камня.

Гидравлическій бетонъ можно опускать подъ воду въ выемку дна или въ ящикъ съ деревянными или металлическими стѣнками; поверхность каждаго слоя надобно разравнивать при помощи водолазнаго снаряда. Правильная каменная кладка подъ водою изъ естественныхъ камней или массъ отвердѣлаго бетона требуетъ употребленія водолазовъ во все время производства.

Для облицовки морскихъ сооруженій, каковы жете и волнорѣзы, подверженныя дѣйствію волнъ, употребляютъ массы отвердѣлаго бетона величиною отъ 1 до 2 куб. сажень; для защиты бетона отъ дѣйствія морской воды ихъ покрываютъ трехдюймовымъ слоемъ асфальта, составленнаго изъ двухъ частей асфальтовой мастики и трехъ частей битаго камня.

Въ тесовой кладкѣ, подверженной ударамъ волнъ, какъ это бываетъ въ маякахъ, кромѣ желѣзныхъ скобъ, камни связываются еще и тѣмъ, что ихъ заусенки обтесываются въ лапу, какъ показано на черт. 275, представляющемъ рядъ камней Эдистонскаго маяка, построеннаго Стевенсономъ: главная цѣль этой перевязки та, чтобы предупредить выскакиваніе камня изъ стѣны послѣ удара въ него волны. Можно связывать ряды камней между собою тѣмъ, что ставить нѣкоторые камни торцемъ такъ, чтобы они принадлежали двумъ рядамъ; такая перевязка употреблена въ быкахъ Николаевскаго моста черезъ Неву въ С.-Петербургѣ.



Черт. 275.

ТРЕТЬЯ ЧАСТЬ.

Сооруженія.

ГЛАВА I.

ДОРОГИ.

ОТДѢЛЪ I. ОБЩІЯ ПОНЯТІЯ.

413. Составъ дороги. Исключивъ строенія и машины, которыя относятся къ принадлежностямъ движенія по дорогѣ, можно сказать что она имѣетъ двѣ составныя части: путь и полотно. *Путь* есть та часть дороги, по которой происходитъ движеніе экипажей, а къ *полотну* дороги можно причислить всѣ тѣ постройки, которыя надобно произвесть для приготовленія постели, на которой положенъ будетъ путь. Собственно же полотномъ дороги въ тѣсномъ смыслѣ называется поверхность земли, приготовленная для принятія пути.

Способы возведенія построекъ для образованія полотна дороги, въ обширномъ смыслѣ, были описаны во второй части этого сочиненія; теперь надобно только сдѣлать на нее ссылки, и объяснить правила, какъ эти строенія примѣняются къ разнаго рода дорогамъ.

I. *Земляныя работы* производятся для приготовленія земляная полотна и состоятъ изъ выемокъ въ возвышенныхъ мѣстахъ и насыпей на низменностяхъ. Часть II, Гл. II § 181 и слѣд.

II. *Ограды.* О временныхъ оградахъ сказано въ § 189; о постоянныхъ будетъ послѣ.

III. *Водоотводъ* при земляныхъ работахъ упомянутъ тамъ же въ § 190; каменныя работы большихъ водостоковъ изложены въ § 298.

IV. *Поддерживающія стѣны* въ § 265—275.

V. *Переѣзды* чрезъ другіе пути сообщенія въ одномъ уровнѣ будутъ изложены въ послѣдствіи.

VI. *Мосты* различаются по ихъ назначенію и по матеріаламъ, изъ которыхъ они строятся.

Назначеніе моста можетъ быть:

А. Переходъ надъ или подъ существующею дорогою, когда невозможно или неудобно пересѣчь ее въ уровнѣ: тутъ бываетъ обыкновенно назначенъ законами или по соглашенію предѣлъ размѣровъ пространства, остающагося свободнымъ для существующей дороги; о чемъ будетъ опять говориться.

Б. Переходъ черезъ долину, гдѣ устройство насыпи невозможно, дорого или неудобно. Мостъ называютъ тогда *путепроводомъ* (viaduct).

В. Переходъ ручья, рѣки, канала или другаго воднаго вмѣстилища. Правила, которыми должно руководствоваться въ этомъ случаѣ для того, чтобъ не стѣснить судоходства или не нанести вреда рѣкѣ, будутъ изложены въ одной изъ слѣдующихъ главъ.

Матеріалами для постройки моста могутъ быть:

а) Камень или кирпичъ: объ этомъ смотрите Часть II, Главу III и въ особенности Отдѣлъ VIII.

б) Дерево; объ томъ смотрите Часть II, Главу IV и въ особенности § 336 и 341—349.

в) Желѣзо; объ немъ въ Части II, Главѣ V.

Основанія мостовъ въ простыхъ случаяхъ строятся по правиламъ Части II, Главы III, Отдѣла IV, въ затруднительныхъ по правиламъ Главы VI, Отдѣла II.

VII. *Тонели*, которыхъ постройка изложена въ Части II, Главѣ VI, Отдѣлѣ I.

Путь дороги можетъ быть обыкновенный, колейный или желѣзный. Существенная между нимъ разница та, что *обыкновенный путь* представляетъ твердую поверхность нѣкоторой ширины, по которой можно ѣздить всюду и

во всѣхъ направленіяхъ; *желѣзный путь* требуетъ движенія по опредѣленному направленію и въ особенно устроенныхъ экипажахъ; *колейный путь* есть среднее между первыми двумя родами путей и состоитъ изъ плоскихъ колей или прокатовъ, положенныхъ вдоль дороги и имѣющихъ такую форму, что по нимъ могутъ катиться колеса, употребляемыя на обыкновенномъ пути.

414. Начертаніе линіи дороги и продольный ея прорѣзъ. Выборъ направленія дороги зависитъ частью отъ статистическихъ и коммерческихъ соображеній, частью отъ механическихъ; хотя инженеру приходится часто принимать первыя въ расчетъ, но они чужды цѣли этого сочиненія.

Съ чисто инженерной точки зрѣнія цѣль, къ которой надобно стремиться при выборѣ направленія дороги состоитъ въ томъ, чтобы движеніе по ней требовало наименьшаго расхода движущей силы при соблюденіи бережливости въ производствѣ строеній. Наименьшій расходъ движущей силы бываетъ при малыхъ уклонахъ, пологихъ кривыхъ и прямолинейномъ направленіи; но назначеніе нормальнаго уклона и радіуса кривизны закругленій ограничиваетъ въ то же время возможность приспособлять направленіе дороги къ неровностямъ земной поверхности и уменьшать стоимость строеній.

Данныя, нужныя инженеру для возможности назначить направленіе дороги, перечислены въ Части I, Главѣ I, § 11; далѣе тамъ указаны способы ихъ собиранія. Объ развѣдкѣ грунтовъ, устройствѣ колодцевъ говорено въ Части II, § 187, 391 и 392. Общій характеръ изгибовъ поверхности земли и способы ихъ изображенія на бумагѣ были изложены въ Части I § 58—60.

Предполагаемая дорога можетъ имѣть цѣлью соединить два мѣста, находящіяся въ одной долинѣ или въ разныхъ долинахъ; въ первомъ случаѣ она не пересѣкаетъ ни одного хребта, во второмъ она можетъ пересѣкать ихъ нѣсколько. Лучшимъ мѣстомъ для перехода чрезъ хребетъ будетъ *перевалъ* (§ 60) черезъ него т. е. ближайшая низкая его точка; но могутъ встрѣтиться случаи, когда надобно отдать предпочтеніе не самой низкой, а какой-нибудь другой точкѣ, потому что она

или доступнѣе, или удобнѣе для устройства тонеля, или прорѣзанія хребта выемкой. Хребетъ надобно перерѣзывать по возможности подъ прямымъ угломъ.

Когда дорога пересѣкаетъ большую долину, при начертаніи ея должно на сколько можно держаться слѣдующихъ правилъ: выбрать самое узкое ея мѣсто, направить дорогу перпендикулярно къ водотоку и отыскать грунтъ довольно твердый для постройки путепровода или возведенія высокой насыпи.

Правило о пересѣченіи препятствій подъ прямымъ угломъ относится къ рѣкамъ и ко всякимъ путямъ сообщенія, лежащимъ выше и ниже предполагаемой дороги; потому что цѣнность моста или путепровода возрастаетъ почти пропорціонально секансу угла отклоненія его оси отъ нормали къ направленію препятствія.

Когда дорога идетъ по одному изъ покатовъ долины, то важнѣйшими препятствіями для ея проведенія бываютъ малыя побочныя долины, примыкающія къ главной, и мысы или оконечности хребтовъ, раздѣляющихъ эти долины. Наименьшихъ издержекъ на сооруженія дороги потребуетъ проведеніе ея змѣеобразно, выпукло относительно главной долины у примыкающихъ къ ней долинъ и вогнуто противъ хребтовъ, огибая мысы; за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда узкость долинъ или хребтовъ дозволитъ пересѣкать ихъ по болѣе прямому направленію при посредствѣ короткихъ сооруженій.

При подъемѣ по крутому покату для достиженія перевала чрезъ хребетъ, иногда необходимо дать дорогѣ извилистое направленіе или провести ее зигзагами для того, чтобы уменьшить уклоны, не обращая уже вниманія на стоимость работъ. Бывали случаи что пользовались мысомъ, выдающимся въ долину, для достиженія перевала чрезъ хребетъ; дорогѣ давали тогда спиральное направленіе, каждый оборотъ спирали прорѣзывалъ хребетъ тонелемъ и потомъ огибалъ мысъ.

Въ большей части случаевъ трудно провести дорогу по глубокой и широкой долинѣ такъ, чтобы ею могли пользоваться поселенія, находящіяся какъ въ нижнихъ, такъ и въ верхнихъ ея частяхъ; для того чтобы дорога могла достигнуть перевала она должна оставить низшую

часть долины въ значительномъ разстояніи отъ перевала, и тогда для остающейся части долины придется устроить боковую дорогу или вѣтвь.

При устройствѣ всякаго рода дорогъ должно избѣгать длинныхъ выемокъ, потому что ихъ трудно осушать. (§ 192).

Объ насыпяхъ въ большихъ низкихъ долинахъ сказано въ § 203: уровень дороги назначается выше самой высокой воды наводненій или паводковъ.

415. Нормальный уклонъ есть тотъ уклонъ, который господствуетъ на дорогѣ и который превосходятъ только въ исключительныхъ обстоятельствахъ, напримѣръ когда для подъема располагаютъ вспомогательною движущею силою или когда спускающіеся грузы вообще менѣе поднимающихся. Стоимость построекъ на дорогѣ зависитъ главнѣйшимъ образомъ отъ степени крутости нормальнаго уклона.

При назначеніи уклона надобно обращать вниманіе на два обстоятельства: на величину движущей силы для подъема грузовъ, и на избѣжаніе потери силы при спускѣ.

Пусть W представляетъ наибольшій грузъ, который поднимается по уклону, f отношеніе сопротивленія къ грузу на горизонтальной плоскости, i синусъ угла наклоненія къ горизонту; тогда

$$(f+i)\ W$$

есть наибольшее сопротивленіе, которое должно преодолѣть при подъемѣ по нормальному уклону; и оно не должно превосходить наибольшей величины движущей силы. Пусть P есть эта сила

$$(f+i)\ W < P \text{ или } i < \frac{P}{W} - f \quad . \quad (1)$$

удовлетворить этому условію необходимо. Другое условіе, которое хорошо выполнять когда возможно, есть избѣжаніе потери силы употребленіемъ тормазовъ или опрокидываніемъ движущей силы для того, чтобы предупредить увеличеніе скорости при спускѣ по нормальному уклону; а для этого нужно чтобъ i было не болѣе f.

$$i < f. \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Величина сопротивленія различна для разнаго рода путей; оно всегда состоитъ изъ двухъ частей: одна происходитъ отъ тренія и независима отъ скорости; другая зависитъ отъ сотрясеній и увеличивается со скоростью, такъ что f можетъ имѣть разныя численныя значенія въ формулахъ 1 и 2. Въ формулѣ 1 значеніе f соотвѣтствуетъ *наименьшей скорости*, съ которою грузъ поднимается, а въ формулѣ 2 *наибольшей скорости* спуска, совмѣстной съ безопасностью.

Когда величина грузовъ, провозимыхъ въ одну сторону по дорогѣ менѣе тѣхъ, которые идутъ въ другую сторону, тогда нормальные уклоны въ разныя стороны могутъ быть различны, а именно въ сторону большаго движенія подъемы должны быть положе.

Изъ этихъ правилъ слѣдуетъ, что чѣмъ меньше отношеніе сопротивленія на горизонтальной плоскости къ грузу, тѣмъ нормальный уклонъ долженъ быть менѣе, а чѣмъ менѣе уклонъ, тѣмъ значительнѣе строенія и тѣмъ труднѣе начертаніе линіи дороги; таковы напримѣръ желѣзныя дороги по отношенію къ обыкновеннымъ; затруднительность ихъ постройки и стоимость увеличивается еще ограниченіемъ величины кривизны закругленій, объ чемъ будетъ говорено въ отдѣлѣ IV.

ОТДѢЛЪ II. ОБЫКНОВЕННЫЯ ДОРОГИ.

416. Сопротивленіе движенію и нормальный уклонъ. Экипажи обыкновенныхъ дорогъ бываютъ на полозьяхъ или на колесахъ. Полозья могутъ быть употребляемы только тамъ, гдѣ поверхность дороги или слишкомъ мягка или слишкомъ крута для безопаснаго движенія на колесахъ; ихъ сопротивленіе движенію по дорогамъ небыло изслѣдовано съ достаточною точностью, г. Косакъ считаетъ его въ 1—30-ю груза при желѣзномъ полозѣ по отвердѣвшему снѣгу.

Сопротивленіе колесныхъ экипажей состоитъ изъ одной постоянной части и другой, возрастающей со скоростью. По г. Морену ихъ отношеніе къ грузу выражается приблизительно формулою

$$f = \{a + b\ (v - 3{,}28)\} : r. \quad . \quad . \quad (1)$$

гдѣ r есть радіусъ колесъ въ дюймахъ, v скорость колесъ въ футахъ на секунду, a и b постоянныя величины, которыхъ численныя значенія для рессорныхъ экипажей суть

	a	b
На хорошемъ шоссе	0. 4 — 0.55	0.025
На мостовой отъ	0.26 — 0 39	0.068 — 0.03.

По этому сопротивленіе f при колесахъ 18-ти дюймоваго радіуса и скорости 15 футовъ въ секунду будетъ на шоссе 0.0385 до 0.0468, на мостовой 0.0593 до 0.0412; при скорости 7 футовъ на шоссе 0.0274 до 0.0357, на мостовой 0.0289 до 0.0279 груза.

Для экипажей безъ рессоръ коефиціентъ b почти въ три съ половиною раза болѣе нежели для рессорныхъ.

По опытамъ Джона Макнейля величина f есть

На каменной мостовой.	$^1/_{68} = 0.015$
На шоссе съ твердымъ баластомъ	$^1/_{49} = 0.020$
На шоссе съ щебеночнымъ баластомъ . .	$^1/_{34} = 0.029$
На хрящѣ	$^1/_{15} = 0.067$
На мягкомъ пескѣ и хрящѣ	$^1/_{7} = 0.143$

Телфордъ считаетъ сопротивленіе движенію по хорошему шоссе на горизонтальной поверхности въ *одну тридцатую* груза и согласно правилу § 415, выраженному формулою 2, онъ назначаетъ нормальный уклонъ шоссейныхъ дорогъ въ $^1/_{30}$.

Если положить, что постоянная тяга лошади при движеніи шагомъ есть 3 пуда, и что сопротивленіе на горизонтальной плоскости есть $^1/_{30}$, то она по уклону въ $^1/_{30}$ можетъ везти вверхъ грузъ въ

$$3 \times 30 : 2 = 45 \text{ пудовъ.}$$

Лошадь можетъ на короткое время сдѣлать усиліе вдвое или втрое большее постоянной силы тяги, которую она производитъ въ теченіи цѣлаго дня; и потому превышеніе нормальнаго уклона на короткихъ разстояніяхъ можетъ быть допускаемо.

Телфордъ на устроенныхъ имъ дорогахъ держался

уклона въ 1/30 и для этого дѣлалъ значительные обходы; но иногда встрѣчаются у него на короткихъ разстояніяхъ уклоны въ 1/20 и даже въ 1/15.

417. Начертаніе и устройство полотна обыкновенныхъ дорогъ. Рѣдко случается надобность въ значительныхъ земляныхъ или каменныхъ работахъ при устройствѣ обыкновенныхъ дорогъ, потому что онѣ на большей части своего протяженія идутъ по поверхности земли. Тутъ земляныя работы ограничиваются при горизонтальной мѣстности въ поперечномъ сѣченіи вырытіемъ двухъ водосточныхъ канавъ по обѣимъ сторонамъ дороги, а при наклонной мѣстности одной только канавы съ нагорной стороны; земля изъ канавъ употребляется на возвышеніе полотна надъ окружающею мѣстностью; кромѣ того сглаживаютъ нѣкоторыя неровности.

По мнѣнію Макъ Адама въ этомъ состоятъ всѣ работы, предшествующія положенію пути или одежды (metal) дороги, даже на топкомъ грунтѣ; по другимъ надобно въ болотистомъ грунтѣ приготовить основаніе способами, подобными указаннымъ въ § 204 для основанія насыпей на слабомъ грунтѣ, напримѣръ вырытіемъ рва глубиною 2—3 фута и наполненіемъ его чистымъ пескомъ, или хрящемъ; или положеніемъ на поверхность болота слоя сухаго торфа или фашинъ, который образуетъ родъ плота. Фашины, употребляемыя для этого скоро разрушатся, если не будутъ въ постоянной сырости. Это связки прутьевъ, длиною 20 футовъ или около того, толщина ихъ отъ 9 до 12 дюймовъ; ихъ кладутъ слоями вдоль и поперегъ, связывая между собою и съ грунтомъ кольями. Трехъ слоевъ фашинъ достаточно для образованія плота, на который насыпаютъ слой крупнаго гравія.

418. Ширина и поперечный прорѣзъ дороги. Для обыкновенной проѣзжей дороги достаточно ширины въ 30 футовъ съ прибавкою 5 или 6 футовъ для пѣшеходовъ съ одной ея стороны.

Проселочныя дороги могутъ быть шириною 20 футовъ съ прибавкою 5 футовъ для пѣшеходовъ.

Въ Россіи нормальная ширина шоссе назначена въ 6 саженъ, но есть шоссе устроенныя и въ 5 саженъ шири-

ны. Въ мѣстахъ населенныхъ и вблизи ихъ дорогу уширяютъ даже до 8 саженъ.

Путь для экипажей долженъ быть выпуклый, средина его должна быть выше боковъ для стока воды; возвышеніе въ 4 или 6 дюймовъ весьма досточно. Эту-же выпуклость надобно давать и полотну для того, чтобы одежда имѣла вездѣ одинакую толщину. Телфордъ предлагаетъ начертаніе поверхности полотна по элипсу, г. Уокеръ предпочитаетъ двѣ прямыя линіи со скругленною вершиною угла, подъ которымъ онѣ пересѣкаются. Дорога должна имѣть продольный уклонъ, хоть и весьма малый, для лучшаго осушенія.

Путь для пѣшеходовъ хорошо устраивать такъ, чтобъ онъ былъ въ одномъ уровнѣ съ вершиною экипажнаго пути и имѣлъ къ нему небольшой поперечный скатъ.

419. Осушеніе дороги и огражденіе ея. Боковыя канавы похожи на тѣ, о которыхъ говорено въ описаніи земляныхъ работъ въ §§ 190, 193, 202. Глубина въ 2 или 3 фута весьма достаточна, открытыя онѣ могутъ имѣть 3—4 фута ширины вверху. Канавы можно замѣнять трубами круглыми, имѣющими 6 дюймовъ діаметра или полуцилиндрическими 12 квадратныхъ дюймовъ площади сѣченія. Осушеніе улицъ въ городахъ производится подземными водостоками.

По сторонамъ проѣзжаго пути дѣлаютъ вымощенные камнемъ *лотки* (gutters) глубиною 3 дюйма, они принимаютъ воду съ поверхности дороги и выпускаютъ ее въ боковыя канавы посредствомъ поперечныхъ трубъ или *воронокъ* лежащихъ подъ пѣшеходнымъ путемъ; иногда эти воронки оставляются открытыми и засыпаются пескомъ.

Для осушенія полотна ниже его поверхности кладутъ особыя трубы (mitre drains) въ направленіи наклонномъ къ оси чрезъ каждыя 25 саженъ; онѣ идутъ отъ оси дороги уклономъ въ $^1/_{100}$ къ боковымъ канавамъ.

На городскихъ улицахъ вода изъ лотковъ выпускается въ водосточныя трубы колодцами (gully-holes), которые закрыты продырявленнымъ камнемъ или желѣзною рѣшоткою, которая кладется горизонтально надъ колодцами или составляетъ часть наклоннаго откоса тротуара. Для того чтобы вредные газы, находящіеся въ водосточ-

ныхъ трубахъ, не портили воздуха на улицахъ, колодцамъ даютъ форму сифоновъ или дѣлаютъ въ нихъ клапаны, отпирающіеся внутрь.

Иногда дѣлаютъ по сторонамъ дороги ограды, которыя помѣщаются между проѣзжимъ путемъ и канавою: иногда это только *надолбы* т. е. столбы, располагаемые черезъ сажень, связанные горизонтальными брусьями, иногда же цѣлые заборы, которые однакожъ не должны быть выше 5 футовъ для того, чтобы не мѣшали дѣйствію свѣта и воздуха на дорогу.

420. Шоссе изобрѣтено Макъ Адамомъ въ 1820 году, оно составляется изъ разбитаго въ щебень камня. Камень надобно выбирать твердый, плотный и прочный. Объ этихъ свойствахъ камней говорено въ Части II, Главѣ III, Отдѣлѣ I, § 212. Лучшія породы суть гранитъ и діоритъ или трапъ; можно употреблять также твердый известнякъ (§ 214), и кремнистый хрящъ, котораго круглые куски должны быть разбиты на угловатые, какъ для приготовленія бетона.

Камень разбивается желѣзными молотами и кирками на куски, имѣющіе почти кубическую форму и вѣсящіе не болѣе 40 золотниковъ, что соотвѣтствуетъ кубу имѣющему въ сторонѣ 1,6 дюйма. Макъ Адамъ требовалъ, чтобы надсмотрщики имѣли вѣсы для повѣрки нѣсколькихъ кусковъ изъ каждой принимаемой кучи щебня. Другое средство повѣрять величину камней состоитъ въ пропусканіи ихъ сквозь кольцо имѣющее въ діаметрѣ $2^1/_2$ дюйма; камни, которые не проходятъ сквозь такое кольцо, слишкомъ велики.

Послѣ разбивки камня въ щебень надобно его прогрохотить для отдѣленія отъ него земли.

Разбитый щебень разсыпаютъ по полотну дороги лопатою и разравниваютъ граблями, слой долженъ быть толщиною въ 4 дюйма, его надобно укатать, это можно сдѣлать катками или открытіемъ по немъ ѣзды; насыпать другой такой же слой, тоже укатать, а потомъ третій: такъ образуется плотная кора или одежда толщиною около 10 дюймовъ, которая почти не проницаема для воды и скоро получаетъ гладкую поверхность отъ ѣзды.

По мнѣнію Макъ Адама 10 дюймовъ есть наибольшая толщина, какую дожлно давать щебеночной насыпи, иногда достаточно только 5 дюймовъ; онъ всегда насыпалъ щебень прямо на землю безъ всякаго приготовленія, кромѣ выравниванія ея и прорытія боковыхъ канавъ, какъ сказано въ § 417.

Телфордъ подъ щебень клалъ основу или *баластъ* (bottoming) изъ камней величиною 4—7 дюймовъ прочной породы, но которые могутъ быть и мягкіе. Большіе камни кладутся руками широкою гранью внизъ на полотно дороги, мелкіе наполняютъ промежутки между ними, такъ что образуется слой толщиною 7 дюймовъ по срединѣ дороги, и 4 дюйма у краевъ; такимъ образомъ дается пути выпуклость. На этотъ баластъ сыплется щебень какъ выше описано.

Шоссе ремонтируютъ, взрывъ его поверхность киркою, чтобы снять растертый и сглаженный камень, потомъ насыпаютъ новый щебень ровнымъ слоемъ, который несвяжется съ старымъ, если поверхность послѣдняго не разрыхлена.

Иногда для того, чтобы облегчить движеніе по вновь насыпанному шоссе, покрываютъ его поверхность слоемъ песку (blinding); но это не хорошо, потому что песокъ, проникая въ промежутки между камнями, мѣшаетъ ихъ связи.

Грязь, которая образуется на шоссе, должна быть съ него счищаема; при хорошемъ матеріалѣ ея бываетъ не много.

Колеса повозокъ малаго діаметра суть самые разрушительные для дороги.

По Телфорду грузъ на каждое колесо не долженъ превосходить 60 пудовъ, при этомъ ширина обода колеса должна быть не менѣе 4 дюймовъ. Это правило сходится съ практикою, но ограниченіе ширины ободьевъ колесъ 4 дюймами должно относиться только къ безрессорнымъ экипажамъ; при рессорахъ можно допускать ширину ободьевъ въ 2 и 2½ дюйма при всякомъ грузѣ по твердому и плотному пути. При мягкой и рыхлой одеждѣ нужна большая ширина ободьевъ колесъ для того, чтобы уменьшить сопротивленіе.

Уплотненіе пути изъ щебня можно ускорить употребленіемъ чугунныхъ катковъ вѣсомъ отъ 60 до 200 пудовъ; недавно введены въ употребленіе во Франціи паровые катки вѣсомъ болѣе 600 пудовъ.

421. Мостовыя требуютъ баласта или основы толщиною отъ 6 до 9 дюймовъ изъ гидравлическаго бетона, или бута на гидравлическомъ растворѣ; баластъ можетъ состоять изъ трехъ слоевъ щебня, каждый толщиною въ 4 дюйма, хорошо укатанныхъ; или изъ трехъ слоевъ утрамбованнаго хряща, толщиною 4 дюйма съ слоемъ песку толщиною 1 дюймъ выше ихъ.

Лучшій матеріалъ для мостовыхъ есть гранитъ или сіенитъ, а затѣмъ діоритъ. Камней слоистыхъ породъ должно избѣгать, а если придется употребить такіе, то ихъ надобно ставить постелями или слоями на ребро.

Камни для мостовой должно грубо обтесывать и не дѣлать ихъ тонкими книзу: ихъ надобно класть правильными рядами поперегъ дороги и располагать швы рядовъ въ перевязку. Для того чтобы камни не качались и не выскакивали надобно имъ давать толщину въ отвѣсномъ направленіи почти вдвое большую горизонтальной ширины; по той же причинѣ длина должна быть равна толщинѣ или не многимъ болѣе. Вотъ наиболѣе принятые размѣры.

Ширина по направленію вдоль дороги	4 дюйма.
Толщина въ отвѣсномъ направленіи	9 »
Длина въ поперечномъ направленіи дороги	9—12 »

Иногда камни для мостовой обтесываютъ кверху уже, такъ что швы ихъ вверху нѣсколько расходятся до глубины 1 дюйма; образующіеся клинообразные промежутки наполняютъ гравіемъ или осколками камней съ асфальтовымъ растворомъ (§ 234); такая мостовая даетъ лучшій упоръ копытамъ лошадей, нежели мостовая съ плотными швами.

Употреблялись также куски гранита, почти кубической формы, 4 дюймовъ въ сторонѣ: ихъ клали на слой песку въ 1 дюймъ, подъ которымъ было три слоя гравія смѣшаннаго съ известью, каждый слой толщиною 4 дюйма.

Камни мостовой послѣ ихъ положенія уколачиваютъ

трамбовкой вѣсомъ въ $1^1/_2$ пуда; употребляли для этого и малые паровые молоты.

На мостовую насыпаютъ иногда передъ открытіемъ проѣзда слой песку или мелкаго гравія въ 1 или $1^1/_2$ дюйма толщины; онъ наполняетъ мало по малу швы между камнями.

Швы можно сдѣлать непроницаемыми для воды, если положить камни на гидравлическомъ растворѣ; или на желѣзныхъ опилкахъ, которыя ржавѣютъ и образуютъ родъ цемента съ пескомъ, проникающимъ въ швы; можно употребить асфальтовый цементъ или просто налить известковый растворъ въ полужидкомъ состояніи на готовую мостовую.

Мостовая изъ неотесанныхъ или булыжныхъ камней безпокойна для ѣзды, скоро портится и потому требуетъ частыхъ починокъ.

Мостовыя на городскихъ улицахъ подвергаются порчѣ отъ прокладки, осмотра и починки газовыхъ, водопроводныхъ и водосточныхъ трубъ Чтобъ устранить разборку мостовой можно сдѣлать особый ровъ для принятія этихъ трубъ.

Откосы этого рва поддержаны отвѣсными стѣнами, которыя связаны поперечными контрфорсами; въ контрфорсахъ имѣются отверстія для трубъ; поддерживающія стѣны могутъ имѣть форму данную чертежомъ 176. Такой ровъ есть въ Ливерпулѣ: глубина его 13 футовъ, контрфорсы поставлены чрезъ каждые 7 футовъ, ширина рва $2^1/_2$ фута, толщина стѣнъ 9 дюймовъ: онъ содержитъ овальную водосточную трубу 27×18 дюймовъ, и двѣ круглыя 10 дюймовыя, одну водопроводную, другую газопроводную.

Другое средство избѣжать разрыванія мостовой для прокладки или починки трубъ состоитъ въ устройствѣ подъ улицею тонеля (Subway) или подземной галереи, въ которой могутъ помѣщаться всѣ городскія трубы; спускъ въ эту галлерею можетъ производиться сквозь колодцы, помѣщаемые у тротуаровъ.

422. Тротуары. Объ размѣрахъ и формѣ тротуаровъ сказано въ § 418. Для устройства ихъ можно употреблять разные матеріалы, которые нѣтъ надобности

выбирать такой твердости, какъ для проѣзжей части дороги таковы: гравій, шлаки, битый кирпичъ и пр. толщина слоя можетъ быть 2 1/2—4 дюйма. Паденіе тротуара къ лотку должно быть въ 2 дюйма, и нижній край его долженъ возвышаться надъ дномъ лотка на 9 дюймовъ; откосъ-же его можетъ быть въ 1 или 1 1/2 основанія на 1 высоту, откосъ этотъ можно замѣнить камнями поставленными на ребро.

Въ городахъ основою тротуару служитъ бетонъ, щебень, гравій или песокъ, на который кладутся каменныя плиты, толщиною отъ 1 1/2 до 4 дюймовъ; чѣмъ мягче порода камней, тѣмъ толще должна быть плита. Надобно выбирать для тротуаровъ камни твердые, плотные, непроницаемые водою, таковы роговообманковый сланецъ, твердый глинистый сланецъ и гнейсъ; за ними слѣдуютъ песчаники и твердые известняки. Мягкіе, хрупкіе, скважистыя камни негодятся.

423. Асфальтовая мостовая состоитъ изъ тонкаго слоя того вещества, которое описано въ § 234 подъ названіемъ *Смолистаго бетона*, положеннаго на баластѣ изъ щебня: полотно дороги должно имѣть посрединѣ возвышеніе надъ краями въ 1—100 ширины.

Баластъ изъ щебня имѣетъ подъ экипажнымъ путемъ 4 дюйма, а подъ тротуаромъ 2 дюйма толщины и долженъ быть уколоченъ полутора пудовою трамбовкою или укатанъ чугуннымъ каткомъ.

Одежда толщиною 1 1/2 дюйма подъ экипажи, и 3/4 дюйма для тротуара составляется изъ щебня или гравія и асфальтоваго раствора; пропорція этихъ веществъ указана въ § 234. Порядокъ приготовленія есть слѣдующій: растопите горную смолу, насыпьте измелченный асфальтъ, потомъ дегтярное масло, песокъ и наконецъ щебень. Проба производится такъ: берутъ кусокъ смѣси и охлаждаютъ его въ водѣ до 21° Р.; кусокъ доски, имѣющей снизу два четырестороннихъ пирамидальныхъ острія, кладется однимъ изъ нихъ на прежде испытанный кусокъ, а другимъ на новый; рабочій становится на доску: углубленіе гвоздей въ оба куска должно быть одинаково, а именно 0,3 дюйма для экипажнаго и 0,2 дюйма для пѣшеходнаго пути. Если смѣсь окажется тверда, то при-

бавляютъ смолы или дегтярнаго масла; когда смѣсь слишкомъ мягка, тогда надобно прибавить асфальту или песку. Одежда кладется въ горячемъ состояніи прямоугольными площадями; поверхность посыпаютъ пескомъ, котораго излишекъ сметается; потомъ даютъ одеждѣ остыть. Никакой искусственный асфальтъ не можетъ замѣнить естественнаго для дорогъ.

Для приготовленія смолистой одежды дорогъ холоднымъ путемъ, надобно разбить асфальтъ въ щебень, разсыпать его слоемъ въ 2 дюйма, полить каменноугольною смолою и уколотить полутора пудовою трамбовкою.

Чтобы исправить асфальтовую мостовую, растворите одну часть смолы въ трехъ частяхъ дегтярнаго масла; налейте $3^3/_4$ фунта этой смѣси на квадратную сажень пути, насыпьте 3 пуда асфальту въ порошкѣ и песку сверху, котораго излишекъ надобно смести.

Хорошая асфальтовая одежда дороги при постоянной ѣздѣ стирается на $^1/_{40}$ дюйма въ годъ.

424. Бревенчатыя мостовыя употребительны въ малонаселенныхъ мѣстахъ, гдѣ лѣсъ въ избыткѣ.

Полотно подъ бревенчатую мостовую приготовляется вырытіемъ двухъ канавъ, земля выбрасывается изъ нихъ на полотно, которое должно имѣть ширину 16 футъ. Одна половина остается безъ одежды и имѣетъ паденіе къ своей канавѣ въ 6 дюймовъ: это лѣтній путь. На другой половинѣ кладутъ параллельные между собою лежни въ разстояніи $4^1/_2$ футовъ ось отъ оси, длина ихъ отъ 10 до 20 футовъ, ширина 12, а толщина 4 дюйма; они зарываются въ землю вровень съ поверхностью полотна; подъ стыки лежней надобно положить другіе тѣхъже поперечныхъ размѣровъ, но длиною 3 фута. Земля утрамбовывается и затѣмъ настилаются пластины или 3 дюймовыя доски. Хорошо не обрѣзывать досокъ со стороны лѣтняго пути по прямой линіи, а сдѣлать такъ, чтобы онѣ выступали чрезъ одну на 3 фута; тогда экипажамъ будетъ гораздо легче переѣзжать съ лѣтняго пути на деревянную настилку, въ чемъ бываетъ надобность при каждой встрѣчѣ экипажей, которые не могутъ разъѣхаться на 8 футовой деревянной настилкѣ.

425. Торцовыя мостовыя изъ деревянныхъ тор-

цовъ высотою около 6 дюймовъ: волокна дерева имѣютъ отвѣсное положеніе; такія мостовыя не прочны и скользки во время мороза. Теперь дѣлаютъ опыты мощенія чугунными торцами: это цилиндры съ перегородками по направленію радіусовъ, промежутки между ними наполняютъ щебнемъ. Мостовыя изъ чугунныхъ плитъ были пробованы и оказались слишкомъ скользки.

ОТДѢЛЪ III. КОЛЕЙНЫЯ ДОРОГИ.

426. Каменныя колеи или прокаты суть гранитныя плиты 10—12 дюймовъ ширины, 2 футовъ длины; толщина ихъ бываетъ такая, какую имѣетъ одежда дороги; ихъ кладутъ на разстояніи $4^1/_2$ футовъ ось отъ оси, а между ними и по сторонамъ дѣлаютъ щебеночную или иную одежду. Хорошо обдѣлывать верхъ прокатовъ жолобомъ, глубиною около полудюйма; колеса экипажей будутъ тогда держаться средины.

427. Чугунныя колеи составляются изъ плитъ 3—4 футовъ длины, 7—8 дюймовъ ширины и $1^1/_2$ дюйма толщины, поверхность ихъ жолобчатая, какъ у каменныхъ прокатовъ; подъ стыками плитъ кладутся плиты той-же толщины и ширины, но меньшей длины. Прежде отливали эти плиты съ выступающей закраиной съ одной стороны, но это теперь оставлено, потому что затрудняетъ съѣздъ экипажей съ колей и переѣздъ черезъ дорогу.

ОТДѢЛЪ IV. ЖЕЛѢЗНЫЯ ДОРОГИ.

428. Сопротивленіе движенію на горизонтальной плоскости разсматривается здѣсь по вліянію, которое оно имѣетъ на нормальный уклонъ: оно почти пропорціонально вѣсу экипажей и выражается дробью, на которую надобно умножить вѣсъ, чтобъ получить сопротивленіе.

Та часть этого сопротивленія, которая происходитъ отъ вымѣщенія воздуха и тренія объ него зависитъ не отъ вѣса, а отъ формы и размѣровъ экипажей; но мы имѣемъ слишкомъ мало данныхъ для того, чтобы вычислить это сопротивленіе съ такою точностью, какая была-бы нужна

для практики. Попытки дать формулы, выражающія это сопротивленіе, дѣланы были гг. Уиндгемомъ Гардингомъ и Скоттомъ Роселемъ; первый принималъ сопротивленіе воздуха пропорціональнымъ площади фронта экипажей, второй ихъ объему, и ими выведены формулы, въ которыхъ T есть вѣсъ экипажей или поѣзда въ пудахъ, V скорость въ футахъ на секунду, A площадь фронта поѣзда въ квадратныхъ футахъ, B объемъ поѣзда въ кубичныхъ футахъ, коефиціентъ полнаго сопротивленія по ихъ формуламъ есть

$$f = \frac{132 + 5\,V}{49280} + \frac{9\,A\,V^2}{280000\,T} \quad . \quad . \quad (1)$$

$$f = \frac{132 + V}{49280} + \frac{9\,B\,V^2}{35000000\,T} \quad . \quad . \quad (2)$$

Кромѣ сопротивленія воздуха, сила, движущая поѣздъ желѣзной дороги, должна преодолѣть треніе осей, независимое отъ скорости и сотрясенія, увеличивающіяся со скоростью; законъ, которому слѣдуютъ происходящія отъ сотрясеній сопротивленія пока еще не извѣстенъ за недостаткомъ систематически произведенныхъ опытовъ съ цѣлью выдѣлить треніе осей.

По формулѣ, основанной на опытахъ Г. Гука, видно, что они ничтожны при скорости меньшей $14^2/_3$ фута въ секунду, а потомъ растутъ пропорціонально избытку скорости надъ этимъ предѣломъ; формула Г. Кларка показываетъ, что эти сопротивленія пропорціональны квадратамъ скоростей. Вотъ эти формулы, въ которыхъ V есть скорость въ футахъ на секунду.

$$f = 0.00268 \left\{1 + \frac{3\,V - 44}{88}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

$$f = 0.00268 \left\{1 + \frac{5\,V^2}{15488}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Выводы изъ обѣихъ формулъ довольно близки къ указаніямъ практики. Коефиціенты выведены были изъ опытовъ надъ хорошо устроенными вагонами, въ которыхъ треніе не превосходило 0.002, скорости были не болѣе 18 футовъ въ секунду, при чемъ треніе не измѣнялось въ величинѣ. Сопротивленіе опредѣлено было динамометромъ,

помѣщеннымъ между паровозомъ и поѣздомъ. По этимъ формуламъ получаются слѣдующія числа при разныхъ скоростяхъ, данныхъ въ футахъ на секунду

Скорости	15	20	25	35	50	80
Сопротивленіе по формулѣ 3.	0.00271	0.00317	0.00362	0.00454	0.00591	0.00865
Сопротивленіе по формулѣ 4.	0.00287	0.00303	0.00322	0.00374	0.00488	0.00822

Числа эти можно считать вѣрными при хорошихъ рессорныхъ вагонахъ, движимыхъ съ постоянною скоростью по хорошо содержанной дорогѣ съ пологими кривыми и въ хорошую погоду.

Г. Кларкъ полагаетъ, что числа, данныя его формулою, должно увеличить въ слѣдующемъ отношеніи:

при дурно устроенной или содержимой дорогѣ на 40%
при крутыхъ закругленіяхъ на 20%
при сильномъ вѣтрѣ съ боку на 20%

всего на 80%; но какъ соединеніе всѣхъ неблагопріятныхъ обстоятельствъ бываетъ рѣдко, то кажется достаточно считать сопротивленіе движенію на желѣзной дорогѣ въ полтора раза болѣе того, какое получается по формулѣ.

Для того, чтобы опредѣлить сопротивленіе движенію вагона по желѣзной дорогѣ, дѣлали слѣдующій опытъ: отцѣпляли отъ поѣзда движущагося съ большею скоростью вагонъ и наблюдали уменьшеніе его скорости до совершенной остановки, для этого чрезъ равные промежутки времени, напримѣръ чрезъ каждые t секундъ, выбрасывали изъ вагона камни или другіе тяжелые предметы на землю Разстоянія между мѣстами, гдѣ эти предметы упали, были измѣрены и, пусть они оказались x_1, x_2, x_3, x_4, то скорости были въ концѣ t, $2t$, $3t$, секундъ.

$$v_1 = \frac{x_1 + x_2}{2t},\quad v_2 = \frac{x_2 + x_3}{2t},\quad v_3 = \frac{x_3 + x_4}{2t}$$

коефиціенты-же сопротивленія суть

$$f_1 = (v_2 - v_1)\colon 32.2 \pm i;\ f_2 = (v_3 - v_2)\colon 32.2 \pm i,$$
$$f_3 = (v_4 - v_3)\colon 32.2 = i.$$

i есть уклонъ дороги и берется съ знакомъ + на подъемѣ, и — на спускѣ.

Сопротивленіе безресорныхъ вагоновъ больше нежели рессорныхъ; при хорошей работѣ его коефиціентъ можно считать отъ 0,00353 до 0,00446, среднимъ числомъ 0,004 или $^1/_{250}$.

429. Отношеніе валоваго груза въ чистому приводится въ прилагаемой таблицѣ на основаніи показаній Кларка объ величинѣ тары или разности между вѣсомъ нагруженнаго вагона и вѣсомъ нагрузки.

Отношенія.	Тары къ чистому грузу.	Валоваго груза къ чистому.
Въ хорошихъ открытыхъ платформахъ	$^1/_2$	$1\,^1/_2$
Въ хорошихъ закрытыхъ вагонахъ	$^3/_4$	$1\,^3/_4$
Въ дурно устроенныхъ вагонахъ	1	2

Вѣсъ тендера, который бываетъ отъ 600 до 900 пудъ должно прибавить къ вѣсу поѣзда при расчетѣ силы паровоза.

Въ пассажирскомъ поѣздѣ можно считать каждаго пассажира въ 4 пуда вѣсомъ, и прибавлять по 2 пуда на багажъ; тара въ пассажирскомъ поѣздѣ обыкновенно вдвое болѣе чистаго груза. На желѣзно-конныхъ дорогахъ вагоны устраиваются легче и вѣсъ ихъ бываетъ равенъ вѣсу сидящихъ въ нихъ пассажировъ.

430. Движущая сила паровоза или всякаго другаго движителя разсматривается здѣсь по связи ея съ уклономъ дороги. Движителями на желѣзной дорогѣ могутъ быть: сила тяжести, лошади, постоянныя паровыя машины и паровозы. Люди и вѣтеръ употреблялись то же иногда, но только въ видѣ исключенія.

1. *Сила тяжести* содѣйствуетъ или противодѣйствуетъ движущей силѣ на каждой наклонной части дороги: самостоятельною движущею силою она можетъ быть только при спускѣ по довольно крутому уклону.

Въ одномъ только случаѣ тяжесть дѣйствуетъ какъ движущая сила по желѣзной дорогѣ, а именно на *самодѣйствующей наклонной плоскости,* гдѣ спускающійся рядъ нагруженныхъ вагоновъ поднимаетъ рядъ пустыхъ. Пусть *i* означаетъ синусъ угла наклоненія плоскости къ гори-

зонту, f коефиціентъ сопротивленія, T вѣсъ пустыхъ вагоновъ, W чистый грузъ; движущая сила при равномѣрной скорости будетъ $(i—f)\ (T + W)$.

Канатъ, безконечный и сдѣланный изъ проволоки какъ это теперь принято, лежитъ на блокахъ, помѣщенныхъ чрезъ каждыя три сажени. Вѣсъ каждаго блока бываетъ отъ 22 до 33 фунтовъ, канатъ долженъ имѣть вѣсъ на погонный футъ равный $^1/_{4500}$ вытягивающаго усилія, если принять 6 за коефиціентъ благонадежности. Пусть R означаетъ вѣсъ каната и блоковъ, сопротивленіе ихъ считается обыкновенно въ $^1/_{20}$ ихъ вѣса, сопротивленіе же всходящихъ пустыхъ вагоновъ есть $(i+f)\ T$.

Для равновѣсія движущей силы съ сопротивленіемъ надобно имѣть

$$(i+f)\ \ (T+W) = \frac{R}{20} + (i+f)\ T \quad (1)$$

движенія не будетъ если уклонъ i менѣе того, что получится при рѣшеніи этого уравненія.

$$i = \left\{\frac{R}{20} + f(W+2T)\right\} : W.$$

Если $f = 0{,}004$; $T = {}^1/_2\ W$

$$i = \frac{R}{20W} + 0.008.$$

При уклонѣ большемъ будетъ избытокъ движущей силы надъ сопротивленіемъ, и скорость будетъ возрастающая. Возрастаніе скорости можетъ быть допущено до нѣкотораго предѣла, совмѣстнаго съ безопасностью движенія; по достиженіи этого предѣла надобно противодѣйствовать избытку движущей силы употребленіемъ тормазовъ и сдѣлать такъ, чтобы движущая сила и увеличенное сопротивленіе были въ равновѣсіи; тогда скорость будетъ равномѣрна.

Рѣдко бываетъ нужно входить въ подробное изчисленіе дѣйствія ускоренія на наклонной плоскости; это можетъ понадобиться тамъ, гдѣ уклонъ очень малъ и есть сомнѣніе достигнетъ-ли скорость такой величины, при которой движеніе не будетъ слишкомъ медленно.

Чтобы опредѣлить время, нужное для прохода наклонной плоскости, назовемъ M вѣсъ каната и обоихъ рядовъ вагоновъ, сложенный съ половиною вѣса блоковъ, F избытокъ движущей силы надъ сопротивленіемъ, L длину наклонной плоскости.

Приблизительное время въ секундахъ есть $\sqrt{\frac{LM}{16F.}}$

Средняя скорость равна частному отъ раздѣленія L на это время, а наибольшая скорость вдвое больше средней.

II. *Лошадь* производитъ наибольшую дневную работу, когда употребляется восемь часовъ въ день при опредѣленной скорости и опредѣленной силѣ тяги.

Пусть P_1 и V_1 сила тяги и скорость, соотвѣтствующія наибольшей дневной работѣ.

P и V какая-нибудь сила тяги и скорость.

T число часовъ дневной работы.

Когда P и V не очень отличаются отъ P_1 и V_1, а T отъ 8 часовъ, то слѣдующая формула приблизительно вѣрна

$$\frac{P}{P_1} + \frac{V}{V_1} + \frac{T}{8} = 3. \ldots . \quad (2)$$

Для обыкновенныхъ здоровыхъ рабочихъ лошадей, можно полагать $P_1 = 3{,}3$ пуда, $V_1 = 3{,}6$ фута.

Для упряжныхъ лошадей нѣтъ такихъ данныхъ, но изъ наблюденій надъ движеніемъ почтовыхъ экипажей и вагоновъ на желѣзно-конныхъ дорогахъ, можно сказать что $P_1 = 1{,}75$ пуда, $V_1 = 7{,}2$ фута и потому

$$\frac{P}{1.75} + \frac{V}{7.2} + \frac{T}{8} = 3 \ldots \quad (3)$$

Вотъ примѣры

T число часовъ дневной работы	4	4	4	1	1	1	1
V скорость въ футахъ на секунду	7 1/2	10	15	7 1/2	10	15	20
P сила тяги въ пудахъ	2.55	1.94	0.73	3.21	2.6	1.38	0.17

Надобно замѣтить, что лошадь можетъ по временамъ

производить усилія бо̀льшія, нежели тѣ, которыя приняты за среднія въ этихъ вычисленіяхъ, но подъ условіемъ уменьшенія скорости при этомъ и на короткое время.

III. *Постоянныя паровыя машины* употребляются большею частью на короткихъ разстояніяхъ, большихъ уклонахъ и при умѣренныхъ скоростяхъ; онѣ движутъ безконечный канатъ, поддержанный блоками, какъ на самодѣйствующей наклонной плоскости. Машина помѣщается на вершинѣ уклона и приводитъ въ движеніе чугунный барабанъ діаметромъ въ 5 или 10 футовъ съ тремя или четырьмя жолобчатыми нарѣзами на боковой его поверхности. На нѣкоторомъ разстояніи отъ этого *движущаго барабана* помѣщается *оттяжной блокъ*, діаметромъ на одинъ или два фута меньше и число нарѣзовъ на немъ бываетъ однимъ меньше; блокъ этотъ находится ниже барабана, считая по наклонной плоскости, и помѣщенъ на четырехколесной телѣжкѣ, къ которой прикрѣплена цѣпь съ гирею, переходящая чрезъ шкивъ. Гиря тянетъ телѣжку и даетъ надлежащую натянутость канату, обхватывающему барабанъ и оттяжной блокъ по имѣющимся на нихъ жолобамъ. У подошвы наклонной плоскости канатъ огибаетъ блокъ, имѣющій одинакій діаметръ съ движущимъ барабаномъ.

Машина всего выгоднѣе дѣйствуетъ и канатъ подверженъ наименьшему усилію, когда есть два поѣзда одинъ восходящій, а другой нисходящій.

Пусть P означаетъ наибольшую силу тяги, нужную для того, чтобы преодолѣть вѣсъ и треніе поѣзда, каната и блоковъ, разсчитанные какъ въ ст. I; для того, чтобы канатъ имѣлъ довольно сцѣпленія (bite) съ барабаномъ, нужно дать нисходящей части его натянутость около одной трети P, такъ что дѣйствующая натянутость восходящаго каната будетъ почти

$$1.33\ P \ldots\ldots (4)$$

а вѣсъ погоннаго его фута, если онъ сдѣланъ изъ проволоки, $^1/_{4500}$ этого количества. Сила прилагаемая къ оси оттяжнаго блока есть около

$$2.74.\ P \ldots\ldots (5)$$

Назовемъ v скорость движенія каната въ футахъ на секунду, номинальная сила паровой машины въ лошадяхъ будетъ

$$1.25.\ \frac{Pv}{550} = \frac{Pv}{440} \quad . \ . \ . \ (6)$$

Коефиціентъ 1.25 поставленъ здѣсь въ томъ предположеніи, что треніе паровой машины поглощаетъ пятую долю ея силы.

При вычисленіи этихъ выводовъ предполагалось, что коефиціентъ тренія каната объ барабанъ есть 0.15, что на немъ три жолоба и что натянутость только что достаточна для того, чтобъ не было скольженія. На дѣлѣ нерѣдко натягиваютъ канатъ такъ, что натянутость нисходящаго каната равна движущей силѣ, тогда натянутость восходящаго каната есть $2P$, а сила на оси оттяжнаго блока 5.7 P.

Другой способъ передачи работы отъ постоянной машины поѣзду состоитъ въ томъ, что она посредствомъ насосовъ вытягиваетъ воздухъ изъ трубы, вдоль которой движется поршень къ станціи избыткомъ атмосфернаго давленія на одну его сторону. Способъ этотъ употреблялся на малыхъ разстояніяхъ, труба имѣла 15 дюймовъ діаметръ, онъ былъ оставленъ въ пользу паровозовъ, но теперь вновь къ нему обращаются для передвиженія почтовыхъ тюковъ по трубамъ.

IV. *Паровозы.* Движущая сила паровоза опредѣляется вообще не тою силою, которую машина можетъ выказать и которая всегда достаточна для передвиженія какого-бы то ни было груза, а *сцѣпленіемъ* (adhesion) колесъ съ рельсами или силою, которая противодѣйствуетъ баксованію ведущихъ колесъ паровоза.

Сцѣпленіе равно грузу, лежащему на ведущихъ колесахъ паровоза и умноженному на коефиціентъ, котораго величина зависитъ отъ состоянія поверхности рельсовъ; она тѣмъ болѣе, чѣмъ рельсы суше и чище, она меньше, если они мокры, грязны или покрыты льдомъ. Среднимъ числомъ можно считать этотъ коефиціентъ равнымъ $^1/_7$; до этой цифры можно его всегда доводить насыпкою

песку на грязные рельсы или направленіемъ струи пара на обледенѣлую ихъ поверхность.

Для того, чтобы рельсы могли безопасно выдерживать грузъ паровоза, не слѣдуетъ нагрузку на каждое ведущее колесо назначать болѣе 5 тоннъ или 310 пудовъ; но въ послѣднее время построены нѣкоторые паровозы съ грузомъ въ 7 тоннъ на каждое ведущее колесо.

Если принять 5 тоннъ за предѣлъ нагрузки на колесо, то предѣлы движущей силы или силы тяги будутъ:

паровозовъ о двухъ	ведущихъ	колесахъ			88.57 пуда
— четырехъ	—	связанныхъ	колесахъ		177.14 —
— шести	—	—	—		265.71 —
— восьми	—	—	—		354.29 —

Паровозы для пассажирскихъ поѣздовъ съ большою скоростью, имѣютъ обыкновенно два, иногда четыре ведущихъ связанныхъ между собою колеса, діаметромъ $5\frac{1}{2}$, 7 или даже 8 футъ. Лучшее положеніе осей этихъ колесъ есть подъ центромъ тяжести машины, при чемъ приличнымъ расположеніемъ рессоръ можно передать на нихъ отъ $\frac{1}{3}$ до $\frac{3}{4}$ вѣса машины. Въ паровозѣ системы Кремптона, ось ведущихъ колесъ находится позади котла для того, чтобы колеса имѣли большой діаметръ, а центръ тяжести оставался низко.

Товарные паровозы для малыхъ грузовъ съ умѣренною скоростью имѣютъ четыре или шесть связанныхъ между собою колесъ 5 футоваго діаметра; для очень грузныхъ поѣздовъ строятъ паровозы о десяти и даже двѣнадцати колесахъ, діаметромъ въ 3 или $3\frac{1}{2}$ фута; передніе четыре колеса составляютъ особенную телѣжку или передокъ и движеніе передается имъ отъ заднихъ колесъ посредствомъ коленчатаго привода, таковы паровозы Энгерта.

По Кларку вотъ вѣсъ обыкновенно употребляемыхъ паровозовъ.

Пассажирскіе паровозы восьми-колесные съ одною парою ведущихъ колесъ	35 тоннъ.
Товарные паровозы съ четырьмя и шестью связанными колесами.	27—32 —

Пассажирскіе паровозы-тендеры . . . 12—20 —
Товарные паровозы-тендеры на большихъ уклонахъ . . . . . 40 —

При уравниваніи силы тяги паровоза, ограниченной его сцѣпленіемъ, съ сопротивленіемъ и составляющею вѣса поѣзда, который онъ долженъ везти, не слѣдуетъ принимать въ разсчетъ сопротивленія, происходящаго отъ тренія и сотрясеній машины, потому что оно не тащитъ паровоза назадъ и не можетъ возбудить баксованія колесъ. По этому дѣйствительная сила тяги паровоза при подъемѣ по уклону, которая должна быть по меньшей мѣрѣ равна сопротивленію самаго тяжелаго поѣзда, найдется вычитаніемъ изъ сцѣпленія паровоза той составляющей части его вѣса, которая тянетъ его внизъ.

Пусть E означаетъ вѣсъ паровоза; qE часть его, лежащая на ведущихъ колесахъ; i синусъ угла наклоненія пути къ горизонту; P сила тяги, тогда

$$P = \left(\frac{q}{7} - i\right)E \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Если q принять отъ 0.33 до 0.75, то $\frac{q}{7} - i$ есть отъ

$$0.048 - i \text{ до } 0.107 - i.$$

Когда всѣ колеса паровоза между собою связаны, какъ въ системѣ Энгерта, тогда

$$q = 1; \text{ а } \frac{q}{7} - i = 0.143 - i.$$

Иногда пользовались вѣсомъ тендера для увеличенія силы тяги и передавали помощью цѣпей и блоковъ его колесамъ движеніе отъ задней оси паровоза; но это можетъ быть допущено только при очень медленномъ движеніи.

431. Нормальный уклонъ желѣзныхъ дорогъ. Общія начала, которыхъ надобно держаться при назначеніи нормальнаго уклона дорогъ, изложены въ § 415.

Они не относятся къ *наклоннымъ плоскостямъ* какъ самодѣйствующимъ, такъ и къ тѣмъ, на которыхъ употребляются постоянныя паровыя машины.

Лошади возятъ только легкіе грузы и на малыхъ разстояніяхъ по желѣзнымъ дорогамъ. Объ силѣ тяги ло-

шадей говорено было въ § 430 Ст. II. Среднее сопротивленіе товарныхъ вагоновъ на горизонтальной плоскости можно считать въ $^1/_{250}$ валоваго груза; если пассажирскіе вагоны тщательно сдѣланы и приспособлены къ движенію, то ихъ сопротивленіе на прямой горизонтальной линіи можно считать въ $^1/_{500}$, на горизонтальной линіи съ пологими кривыми въ $^1/_{373}$ или 0.00268. Опыты показываютъ, что на уклонахъ отъ $^1/_{100}$ и даже до $^1/_{70}$ нѣтъ надобности прибѣгать къ увеличенію силы тяги, если длина подъемовъ не превосходитъ трехъ верстъ въ одинъ разъ и лошадь не понуждается къ ускоренію естественнаго своего хода; но при большей длинѣ уклона его не слѣдуетъ дѣлать круче $^1/_{200}$. На подъемахъ въ $^1/_{50}$ или $^1/_{40}$ грузъ, налагаемый на одну лошадь, должно раздѣлять на двухъ, или припрягать по одной лошади къ каждому вагону и движеніе производить шагомъ. На очень крутой, короткій подъемъ можно иногда взойти съ разгону.

При назначеніи нормальнаго уклона *паровозной дороги* не требуется безусловно слѣдовать правиламъ, выводимымъ изъ общихъ началъ: ими долженъ руководствоваться инженеръ, когда нѣтъ особенно важныхъ причинъ для отступленія.

На всякой желѣзной дорогѣ существуетъ зависимость между слѣдующими четырьмя предметами: наибольшимъ вѣсомъ поѣзда, наименьшею скоростью его подъема по уклонамъ, системою паровозовъ и величиною нормальнаго уклона, т. е. того уклона, по которому можно всходить безъ помощи особенно устроенныхъ паровозовъ.

Зависимость эта выражается уравненіемъ, въ которомъ сопротивленіе назначено по формулѣ Г. Кларка, приведенной въ § 428 подъ № 4.

Буквы въ уравненіи имѣютъ слѣдующія значенія:

E вѣсъ паровоза въ англійскихъ тоннахъ (62 пуда).

qE часть его, лежащая на ведущихъ колесахъ (§ 430).

T валовой вѣсъ поѣзда, со включеніемъ тендера, выраженный въ пудахъ. Объ отношеніи валоваго груза къ чистому и вѣсѣ тендера сказано въ § 429.

V наименьшая скорость въ футахъ на секунду, съ которою поднимаются поѣзды по нормальному уклону.

i синусъ угла, соотвѣтствующаго нормальному уклону или $1 : i$ основанія на 1 высоты.

Уравненіе связывающее эти величины есть

$$\left(\frac{q}{7} - i\right) 62\, E = \left\{ 0.00268 \left(1 + \frac{5\ V^2}{15488}\right) + i \right\} T \quad . \ . \ . \ (1)$$

Изъ этого уравненія можно вывести слѣдующія формулы:

даны q, i, V найти отношеніе вѣса паровоза въ тоннахъ къ грузу поѣзда въ пудахъ и обратно.

$$E : T = \left\{ 0.00268 \left(1 + \frac{5\ V^2}{15488}\right) + i \right\} : \left\{ 62 \left(\frac{q}{7} - i\right) \right\} \quad (2)$$

$$T : E = \left\{ 62 \left(\frac{q}{7} - i\right) \right\} : \left\{ 0.00268 \left(1 + \frac{5\ V^2}{15498}\right) + i \right\} . \quad (3)$$

даны E, q, T, i найти скорость подъема V

$$V = 1080.37 \sqrt{\left\{ \left(\frac{q}{7} - i\right) 62\ \frac{E}{T} - 0.00268 - i \right\}}$$

даны E, q, T, V найти нормальный уклонъ i

$$= \left\{ \frac{62}{7}\ q\ E - 0.00268 \left(1 + \frac{5\ V^2}{15488}\right) T \right\} : \left(62\, E + T\right) . \quad (4)$$

Принимая въ разсчетъ добавочныя сопротивленія въ 50%, какъ сказано въ § 428, можно на всякій случай поставить коефиціентъ 0,00402 вмѣсто 0,00268.

Вотъ примѣры употребленія уравненія (3).

Скорость въ футахъ на секунду	35	25	15
Вѣсъ паровоза въ тоннахъ	20	30	30
Число ведущихъ связанныхъ колесъ	2	4	всѣ
Нагрузка ведущихъ колесъ въ тоннахъ	10	21	30
Величина коефиціента q	0,5	0,7	1
Вѣсъ тендера въ пудахъ	600	720	900

Валовой грузъ поѣзда въ пудахъ при уклонахъ:

въ $^1/_{50}$	= 0,02	2086	5688	9089
въ $^1/_{80}$	= 0.0125	3891	9633	14869
въ $^1/_{100}$	= 0.01	4943	11943	18293
въ $^3/_{400}$	= 0.0075	6452	15329	23366
въ $^1/_{200}$	= 0.005	8825	20776	31660

Главное обстоятельство, которое имѣетъ вліяніе на величину нормальнаго уклона, есть родъ движенія по дорогѣ: надобно опредѣлить вѣроятный валовой грузъ разнаго рода пассажирскихъ и товарныхъ поѣздовъ и скорость, съ которой они должны восходить по наибольшимъ крутостямъ дороги; тогда нормальный уклонъ такъ назначается, чтобы паровозъ съ грузомъ въ 5 тоннъ на каждомъ ведущемъ колесѣ могъ поднимать поѣзды наибольшаго груза.

Возводить большія сооруженія для уменьшенія уклоновъ съ тою только цѣлью, чтобы легкими паровозами двигать большіе грузы, весьма неразсчетливо; но гдѣ грузы не велики и можно достигнуть отлогихъ покатостей съ малыми издержками, тамъ выгодно употреблять легкіе паровозы.

Можетъ однако случайно встрѣтиться на линіи желѣзной дороги такой уклонъ, на который нельзя подняться обыкновенно употребляемыми паровозами на этой дорогѣ: тутъ надобно прибавлять къ поѣзду вспомогательный паровозъ, или замѣнить обыкновенный паровозъ другимъ, собственно для этой части дороги устроеннымъ, паровозомъ, таковы паровозы-тендеры, которыхъ вѣсъ и сцѣпленіе съ рельсами значительны, или наконецъ прибѣгнуть къ дѣйствію постоянной машины и каната. Эти вспомогательныя средства употребляются съ выгодою тогда, когда по причинѣ большаго движенія они постоянно могутъ быть въ дѣйствіи.

432. Дѣйствіе тормозовъ можно разсмотрѣть здѣсь въ связи съ нормальнымъ уклономъ.

Непосредственное дѣйствіе тормозовъ состоитъ въ томъ, что всѣ или нѣкоторыя колеса поѣзда перестаютъ вертѣться и скользятъ по рельсамъ, вмѣсто того чтобы катиться по нимъ; увеличенное такимъ образомъ сопротивленіе останавливаетъ поѣздъ: *время*, нужное на остановку,

прямо пропорціонально скорости и обратно пропорціонально сопротивленію; а *разстояніе*, проходимое заторможеннымъ поѣздомъ, пропорціонально прямо квадрату скорости и обратно сопротивленію. Опредѣленіе разстоянія гораздо важнѣе нежели времени и выражается въ футахъ на горизонтальной плоскости формулою

$$v^2 : 64.4\, f' \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

гдѣ f^1 есть отношеніе сопротивленія заторможеннаго поѣзда къ его вѣсу; v скорость въ футахъ на секунду.

Бываютъ самодѣйствующіе тормозы, связанные съ буферами; есть тормозы дѣйствующіе паромъ или иначе и останавливающіе всѣ колеса; тогда $f^1 = 0.14$. Болѣе быстрая остановка нежели та, которая производится этими тормозами, опасна потому что можетъ причинить ударъ.

Обыкновенно тормозы бываютъ только при третьей части вагоновъ, они приводятся въ дѣйствіе прислугою; при нихъ f' бываетъ отъ 0.031 до 0.023; такъ что поѣздъ останавливается на разстояніи въ $4^1/_2$ или 6 большемъ нежели при заторможеніи всѣхъ колесъ.

По этимъ даннымъ составлена слѣдующая таблица въ круглыхъ числахъ, потому что точность тутъ безполезна.

Скорость въ футахъ на секунду		15	20	25	35	50	80
Разстояніе остановки при дѣйствіи тормозовъ на всѣ колеса				с а ж е н и.			
		$3^1/_2$	$6^1/_2$	10	$19^1/_2$	$39^1/_2$	114
Разстояніе остановки при обыкновенныхъ тормозахъ	отъ	16	$28^1/_2$	45	$87^1/_2$	179	458
	до	$21^1/_2$	$38^1/_2$	60	118	241	617

Эти цифры относятся къ горизонтальной плоскости, при движеніи-же по уклону i вверхъ сопротивленіе есть $f^1 + i$, а внизъ $f^1 - i$, и потому для разсчета разстоянія остановки на уклонѣ величиною i, надобно эти цифры умножать на f^1 и дѣлить потомъ на $f^1 + i$ при подъемѣ и $f^1 - i$ при спускѣ,

433. Работа паровоза. Кромѣ сопротивленія поѣзда, который онъ ведетъ, паровозъ долженъ преодолѣть сопро-

тивленіе своихъ собственныхъ колесъ, осей и всего механизма. Если работу потраченную на этотъ предметъ раздѣлить на разстояніе, пройденное паровозомъ, то получается дополнительное сопротивленіе, которое равно сопротивленію паровоза; его надобно придать къ сопротивленію тендера и вагоновъ для того чтобы получить валовое или *полное сопротивленіе поѣзда.*

Много правилъ было предлагаемо для разсчета сопротивленія паровоза; приводимое здѣсь основано на томъ, что сопротивленіе это состоитъ изъ двухъ частей: первая есть сопротивленіе машины, какъ *повозки* или вагона и одинаково съ сопротивленіемъ каждаго вагона одинаковаго съ ней вѣса; вторая часть есть сопротивленіе механизма и имѣетъ нѣкоторое отношеніе къ полному сопротивленію поѣзда, порождаемому треніемъ, сотрясеніями или силою тяжести; опыты показываютъ, что это отношеніе равно одной трети. Это правило выражается формулою

$$R=\frac{4}{3}\left(T+62\,E\right)\left\{0.00268\left(1+\frac{5\,V^2}{15488}\right)+i\right\} \quad \ldots\ldots (1)$$

въ которсй R есть сопротивленіе въ пудахъ, T валовой грузъ тендера и вагоновъ въ пудахъ, E вѣсъ паровоза въ тоннахъ, V скорость въ футахъ на секунду, i уклонъ, по которому поѣздъ поднимается. Вотъ другой видъ этой формулы

$$R=\left(T+62\,E\right)\left\{0.0035733\ldots+0.00000\,1153\,V^2+\frac{4}{3}i\right\} \quad (2)$$

при неблагопріятныхъ обстоятельствахъ движенія коефиціентъ 0.00268 долженъ быть замѣненъ цифрою 0.00402 и тогда

$$R=\left(T+62\,E\right)\left\{0.00536+0.00000173\,V^2+\frac{4}{3}\,i\right\} \quad \ldots (3)$$

Когда поѣздъ спускается по уклону, тогда членъ содержащій i долженъ быть взять съ отрицательнымъ знакомъ.

Формула Г. Кларка отличается отъ формулы (2) тѣмъ, что сопротивленіе поѣзда, какъ повозокъ, отъ тренія, уве-

личено на $^1/_3$, сопротивленіе отъ сотрясеній на $^2/_5$, а сила тяжести оставлена безъ перемѣны, такъ что

$$R = (T + 62\,E)\,\{0.0035733 + 0.000001211\;V^2 + i\}$$

Количество дѣйствія производимаго паровозомъ или *работа* его въ пудофутахъ на секунду получается умноженіемъ этого сопротивленія на скорость, а сила машины въ паровыхъ лошадяхъ раздѣленіемъ этого произведенія на 15; т. е. номинальная сила машины выражается формулою

$$\frac{1}{15}\;V\;R \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Пусть A означаетъ площадь каждаго изъ поршней паровыхъ цилиндровъ въ квадратныхъ дюймахъ; p среднее дѣйствительное давленіе пара въ пудахъ на квадратный дюймъ, c окружность ведущихъ колесъ въ футахъ, l длина хода пароваго поршня тоже въ футахъ; тогда

$$4p\;Al = cR;\; p = cR : 4\,Al$$

средняя скорость пароваго поршня въ футахъ на секунду есть $2\,l\,V : c$;

объемъ пара расходуемаго въ одну минуту $5\,l\,V\,A : 3\,c$ куб. футовъ. . . . . (5)

Примѣры:

Скорость въ футахъ на секунду	$V =$	25	20	15
Уклонъ подъема	$i =$	$^3/_{400}$	$^3/_{400}$	$^1/_{80}$
Вѣсъ паровоза въ тоннахъ	$E =$	20	30	30
Вѣсъ тендера въ пудахъ	T	600	720	900
Вѣсъ поѣзда въ пудахъ	T	6000	15000	15000
Окружность ведущихъ колесъ въ футахъ	$c =$	20	15	14
Длина хода поршня въ футахъ	$l =$	2	2	$2^1/_6$

Площадь пароваго поршня въ кв. д.	$A =$	200	226	253
Полное сопротивленіе въ пудахъ	$R =$	112.06	246.73	364.07
Давленіе пара на поршень въ пудахъ на кв. д.	$p =$	1.55	2.11	2.4
Средняя скорость поршней, футы въ секунду		5	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{9}{14}$
Число двойныхъ ходовъ поршня въ минуту		75	80	$64\frac{2}{7}$
Объемъ пара расходуемаго въ минуту к. ф.		$883\frac{1}{3}$	$1506\frac{1}{3}$	$977\frac{2}{3}$
Сила машины въ паровыхъ лошадяхъ		187	329	364

Средняя величина давленія пара на поршень соотвѣтствуетъ всегда величинѣ сопротивленія, которая опредѣляется указанными выше разсчетами. Давленіе-же пара въ котлѣ превосходитъ давленіе въ цилиндрѣ въ отношеніи, зависящемъ отъ степени разширенія пара и другихъ обстоятельствъ: оно бываетъ отъ 2 до $3\frac{1}{2}$ пудъ на квадратный дюймъ болѣе давленія атмосферы, которое равно 0.407 пуда. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ машины дѣйствовали при давленіи въ 5 слишкомъ пудъ, но нынѣ обыкновенно употребляютъ давленія отъ $2\frac{1}{2}$ до 3 пудъ.

Скорость, съ которою паровозъ идетъ зависитъ отъ количества пара данной упругости, которое можетъ произвесть котелъ, а это зависитъ въ свою очередь отъ количества сожигаемаго топлива и способности его къ парообразованію.

Расходъ топлива паровозами на каждую паровую лошадь въ часъ бываетъ отъ $3\frac{1}{3}$ до $5\frac{1}{2}$ фунтовъ, а воды выпаривается отъ 7 до 9 фунтовъ на 1 фунтъ топлива. Поверхность нагрѣва въ обыкновенныхъ машинахъ бываетъ отъ 800 до 2000 квадратныхъ футовъ; а площадь нагрѣва на каждый фунтъ угля, сжигаемаго въ часъ, измѣняется отъ половины до полуторыхъ квадратныхъ футовъ, среднимъ числомъ одинъ квадратный футъ.

При помощи конуса, которымъ выпускается отработав-

шій паръ, можно соразмѣрять въ нѣкоторой степени потребленіе топлива съ той работою, которую производитъ машина; по этому большая издержка топлива сильными машинами при всходѣ на крутые уклоны довольно значительно вознаграждается сбереженіемъ его при спускахъ.

Подробности устройства паровозовъ, дѣйствія топлива и пара въ нихъ принадлежатъ механикѣ и не могутъ быть изложены въ этомъ сочиненіи.

434. Закругленія. I. *Добавочное сопротивленіе на закругленіяхъ* желѣзныхъ дорогъ не можетъ быть опредѣлено съ точностью. Изъ опытовъ, дѣланныхъ авторомъ вмѣстѣ съ Г. Давидомъ Ренкиномъ надъ легкими пассажирскими вагонами съ совершенно цилиндрическими колесами, которыхъ сопротивленіе на прямой горизонтальной линіи было 0.002, оказывается что коефиціентъ сопротивленія на кривой части дороги, описанной радіусомъ r футовъ, было

$$\frac{3.3}{r} \quad \ldots \quad (1)$$

До тѣхъ поръ пока скашиваніе шинъ колесъ или придаваніе имъ конической формы было въ большомъ употребленіи, сопротивленіе на кривыхъ и прямыхъ линіяхъ было почти одинаково; такая форма колесъ, уменьшая нѣсколько сопротивленіе на закругленіяхъ увеличивала на прямыхъ частяхъ ту часть сопротивленія, которая причиняется колебаніями поѣзда, потому что движеніе вагоновъ было извилистое и они качались. Но когда перестали скашивать колеса или уменьшили скашиваніе до $^1/_{40}$ сопротивленіе на прямыхъ частяхъ стало значительно меньше, нежели на кривыхъ.

Нѣкоторые опыты, произведенные въ Америкѣ Г. Латробомъ, даютъ для коефиціента сопротивленія величину

$$\frac{1.36}{r} \quad \ldots \quad (2)$$

Малость этой величины сравнительно съ данной формулою (1), можетъ быть отнесена къ употребленію въ Америкѣ вагоновъ съ передками (bogey-carriages).

II. *Приспособленіе подвижнаго состава къ движенію по*

кривымъ линіямъ. Какъ паровозы, такъ и вагоны въ Америкѣ приспособляются къ движенію по крутымъ закругленіямъ устройствомъ передка, или малой четырехколесной телѣжки съ очень сближенными осями и вращающейся на шворнѣ при машинѣ или вагонѣ, которые она поддерживаетъ, катки въ верхней части этой телѣжки уменьшаютъ треніе при вращеніи. Длинный пассажирскій вагонъ поддержанъ двумя такими телѣжками, помѣщенными на обоихъ его концахъ; паровозъ имѣетъ только одну телѣжку въ передней части или передокъ.

Въ недавнее время введено усовершенствованіе въ устройство такихъ паровозовъ, которое состоитъ въ томъ, что шворень помѣщается на срединѣ между центромъ передка и средней точкой между осями ведущихъ колесъ; такіе паровозы могутъ ходить по кривымъ, описаннымъ радіусомъ въ 33 сажени. На англійскихъ желѣзныхъ дорогахъ весьма рѣдко встрѣчаются закругленія, имѣющія радіусъ меньшій 100 саженъ.

III. *Возвышеніе внѣшняго рельса* надъ внутреннимъ въ кривыхъ частяхъ желѣзной дороги дѣлается для того, чтобы противодѣйствовать стремленію повозокъ двигаться по прямому направленію, касательному къ кривой и сойти съ пути. Это стремленіе происходитъ отъ трехъ причинъ: отъ центробѣжной силы, паралелизма осей и скольженія колесъ.

Пусть v означаетъ скорость въ футахъ на секунду поѣзда, движущагося по дугѣ круга, описаннаго радіусомъ r футовъ, центробѣжная его сила имѣетъ къ его вѣсу отношеніе, выражающееся дробью

$$\frac{v^2}{32.2\,r} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Таково-же должно быть отношеніе возвышенія наружнаго рельса къ ширинѣ пути: если это возвышеніе выразить въ саженяхъ, также какъ и радіусъ закругленія, а скорость въ футахъ на секунду, то при ширинѣ 5 футовъ, принятой въ Россіи для желѣзныхъ дорогъ, это возвышеніе опредѣлится по формулѣ.

$$\frac{0.00316897\,v^2}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Скорость въ футахъ на секунду	35	50	80
Возвышеніе внѣшняго рельса	$\frac{3.882}{r}$	$\frac{7.922}{r}$	$\frac{20.281}{r}$

Если скорость V выражена въ верстахъ на часъ, то возвышеніе есть

$$\frac{0.003\ V^2}{r} \quad . \ . \ . \ (4\,A)$$

По невозможности приспособить возвышеніе къ разнымъ скоростямъ, съ которыми производится движеніе по дорогѣ, его разсчитываютъ на наибольшую скорость.

Стремленіе сойти съ пути, происходящее отъ параллелизма осей не можетъ быть отдѣлено отъ того, которое причиняется скольженіемъ колесъ.

Въ криволинейной части дороги внѣшній рельсъ длиннѣе внутренняго, и разность ихъ имѣетъ къ длинѣ внутренняго рельса такое отношеніе, какъ ширина пути къ величинѣ радіуса кривизны. Если два колеса, насаженныя неподвижно на одну ось, имѣютъ одинакіе діаметры, то внѣшнее колесо должно скользить по внѣшнему рельсу на пространствѣ, равномъ этой разности между длинами рельсовъ. Отъ этого происходитъ добавочное сопротивленіе движенію внѣшняго колеса каждой оси поѣзда, стремящееся выбросить переднюю часть повозки наружу. Скашиваніе или приданіе конической формы ободьямъ колесъ было придумано съ тою цѣлью, чтобы оба колеса опирались на свои рельсы разными точками ободьевъ, соотвѣтствующими разнымъ радіусамъ: но при такомъ устройствѣ колесъ увеличивались колебанія поѣзда и сопротивленіе движенію на прямой линіи. При цилиндрическихъ ободьяхъ колесъ можно противодѣйствовать стремленію сойти съ рельсовъ добавочнымъ возвышеніемъ внѣшняго рельса съ тѣмъ, чтобы передать на внутреннее колесо большую часть вѣса повозки. Для опредѣленія величины этого добавочнаго возвышенія дѣланы были опыты авторомъ и Г. Давидомъ Ренкиномъ при скоростяхъ отъ 4 до 17 футовъ въ секунду и оказалось, что она независима отъ скорости и обратно пропорціональна ра-

діусу кривизны, такъ что можетъ быть выражена въ саженяхъ слѣдующею формулою.

$$\frac{12.245}{r} \quad \ldots . \quad (5)$$

гдѣ r выражено то-же въ саженяхъ, но вѣроятно такое добавочное возвышеніе излишне при подвижномъ составѣ на передкахъ.

Измѣненіе высоты дѣлается у обоихъ рельсовъ; внѣшній поднимается на половину возвышенія, а внутренній на столько-же понижается.

IV. *Постепенность измѣненія кривизны.* Всякое измѣненіе кривизны дороги сопровождается измѣненіемъ возвышенія наружнаго рельса, а какъ это измѣненіе можетъ быть только постепенное, то измѣненіе кривизны должно-бы быть то-же постепеннымъ, какъ при переходѣ отъ прямой линіи къ кривой, такъ и при переходѣ отъ одной кривой къ другой, описанной другимъ радіусомъ или обращенной въ другую сторону.

Два рода кривыхъ съ постепеннымъ измѣненіемъ кривизны было употреблено: одна, придуманная Г. Граватомъ около 1828 или 1829 годовъ есть *линія синусовъ* вмѣсто дуги круги; другая есть *сопрягающая линія* (curve of adjustment) предложенная Г. Фроудомъ и помѣщаемая между прямою линіей и дугою круга или двумя дугами круга.

Первая или линія синусовъ представляетъ самую полную постепенность въ измѣненіи кривизны; но введеніе ея влечетъ за собой совершенное оставленіе дуги круга, которой разбивка быстрѣе всякой другой кривой. А сопрягающая линія Г. Фроуда легко связывается съ дугами круговъ; вотъ способъ ея разбивки.

Положимъ что часть оси желѣзной дороги, состоящая изъ кривой линіи или ряда кривыхъ, примыкаетъ на обоихъ концахъ къ прямымъ линіямъ и должна быть такъ разбита, чтобы всѣ переходы кривизны были постепенны.

1. Назначьте ось дороги какъ рядъ дугъ круга по способу I § 63 временными колышками.

2. Опредѣлите длину сопрягающихъ линій по слѣдующему правилу: вычислите возвышеніе внѣшняго рельса

каждой дуги по правиламъ статьи III этого § и измѣненія этого возвышенія; при этомъ надобно помнить, что измѣненіе при переходѣ отъ прямой линіи къ дугѣ есть возвышеніе, соотвѣтствующее дугѣ; при переходѣ отъ одной кривой къ другой измѣненіе равно разности возвышеній, когда кривизны обращены въ одну сторону, и суммѣ, когда онѣ въ разныя стороны.

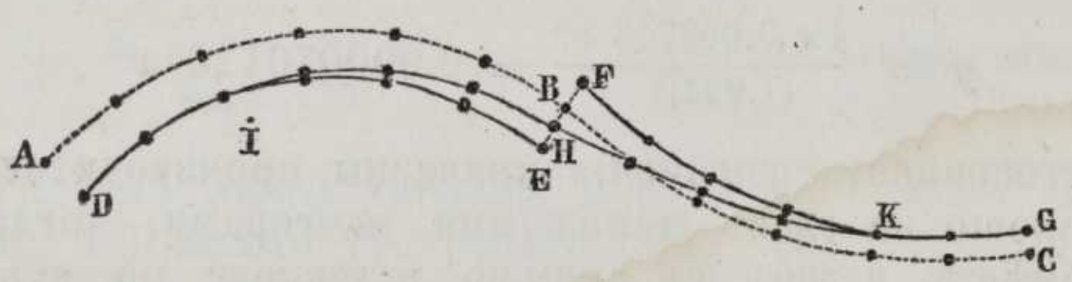
Умножьте наибольшее измѣненіе возвышенія на обратную величину наибольшаго уклона сопряженія, или наклоненія къ горизонту, которое можно дать рельсу; произведеніе будетъ длина сопрягающей линіи. Г. Фроудъ назначаетъ этотъ уклонъ въ $^1/_{300}$; если L длина сопрягающей линіи, dh измѣненіе уклона, то

$$L = 300\ dh \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

3. Разсчитайте уклоненіе e въ саженяхъ по формулѣ

$$e = L^2 : 24\ r \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Перемѣстите колья каждой дуги на это уклоненіе внутрь т. е. въ сторону центра. На чертежѣ 276 AB, BC суть



Черт. 276.

двѣ послѣдовательныя дуги круга взаимно касательныя въ точкѣ B; BF и BE суть уклоненія, имъ соотвѣтствующія и разсчитанныя по формулѣ 7; перестановленныя колья даютъ кривыя линіи DE и FG, расходящіяся на количество EF равное суммѣ уклоненій у точки перехода B; ири дугахъ обращенныя кривизною въ одну сторону EF было-бы равно разности уклоненій. Колья прямой линіи не перемѣщаются и у точки перехода она будетъ отстоять отъ дуги на величину уклоненія соотвѣтствующаго дугѣ.

4. Сопрягающая линія IHK назначается такъ: средина ея будетъ въ H на срединѣ линіи EF; концы ея I и

K отстоятъ на половину длины сопрягающей линіи, опредѣленной формулою 6. Промежуточныя точки между I и H получаются откладываніемъ по нормальнымъ линіямъ къ дугѣ IE ординатъ, пропорціональныхъ кубамъ ихъ разстояній отъ I; а для точекъ между H и K надобно откладывать ординаты, пропорціональныя кубамъ разстояній отъ K.

Правило это выражается формулою

$$y = \frac{4\ dh\ x^3}{L^3} \quad \ldots\ (8)$$

Примѣръ: Дуга круга, описанная радіусомъ въ 300 саженъ, съ возвышеніемъ наружнаго рельса соотвѣтствующимъ скорости 50 футовъ въ секунду, должна быть соединена съ прямою посредствомъ сопрягающей линіи

возвышеніе $h = 7.922 : 300 = 0.02641$ сажени
длина сопрягающей $L = 0.02641 \times 300 = 7.922$.
уклоненіе дуги $e = (7.922)^2 : 24 \times 300 = 0.008716$.

Формула для изчисленія ординатъ есть

$$y = \frac{4 \times 0.008716\ x^3}{(7.922)^3} = 0.000070128\ x^3$$

Постепенность измѣненія кривизны производится весьма хорошо на глазъ дорожными мастерами, когда кривая имѣетъ изгибъ съ прямою вставкою; но ихъ приблизительный способъ неприложимъ при переходѣ отъ одной кривой къ другой, описанной другимъ радіусомъ или отъ прямой линіи къ кривой.

V. *Соединеніе закругленій съ уклонами.* Такъ какъ кривизна дороги увеличиваетъ сопротивленіе движенію и опасность схода съ рельсовъ при большой скорости, то слѣдуетъ избѣгать кривыхъ малаго радіуса на большихъ уклонахъ и тамъ гдѣ скорости велики.

Если случится необходимость помѣстить дугу круга малаго радіуса на большомъ уклонѣ, то надобно вмѣсто равнаго вездѣ уклона, сдѣлать дорогу круче въ прямой части и отложе въ кривой для того, чтобы сопротивленіе восходящаго поѣзда было возможно равномѣрнѣе. За не-

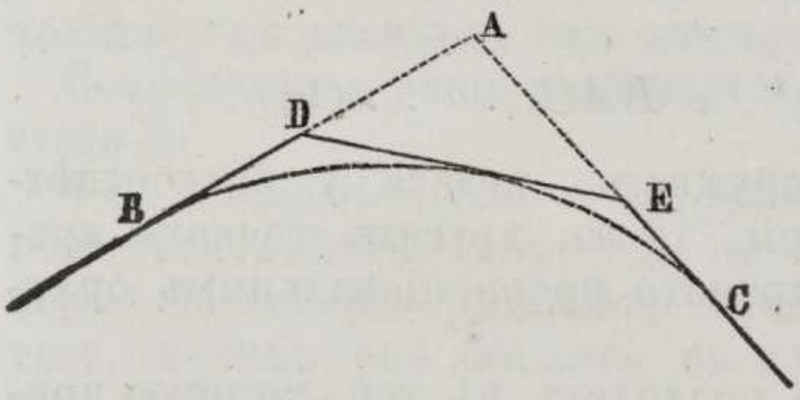
достаткомъ болѣе точныхъ данныхъ можно разсчитывать сопротивленіе вагоновъ и паровозовъ безъ передковъ по формулѣ (1) этого §, а когда есть передки, то брать формулу (2).

VI. *Дополнительныя задачи разбивки закругленій.*

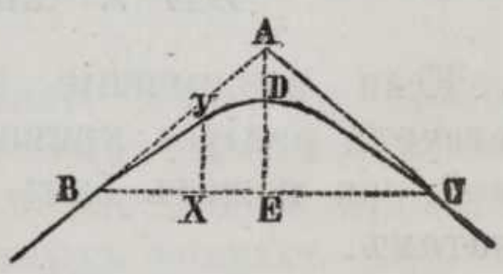
1. *Опредѣлить радіусъ дуги круга, касающейся трехъ данныхъ прямыхъ линій BD, DE, EC* (чер. 277). Измѣрьте длину средней прямой DE и величину тупыхъ угловъ при D и E

$$r = DE : (tang\ ^1/_2\ D + tang\ ^1/_2 E) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

разбивка кривой можетъ быть произведена по способу 1 § 63.



Черт. 277.



Чэрт. 278.

2. *Разбить линію синусовъ или гармоническую кривую* Гравата. Ее можно употребить, когда мѣсто открытое и есть довольно времени на разбивку.

Пусть BA и CA (чер. 278) соединяемыя прямыя, пересѣкающіяся въ A.; на линіи раздѣляющей уголъ BAC пополамъ выберите точку D, чрезъ которую должна проходить кривая; затѣмъ отложите разстоянія

$$AB = AC = 2.75193\ AD \times Sec\ ^1/_2\ BAC \quad . \quad . \quad (10)$$

B и C будутъ оконечности кривой. Представьте себѣ, что хорда BEC есть спрямленная полуокружность, раздѣленная на 180 градусовъ и откладывайте по прямымъ къ ней перпендикулярнымъ разстоянія, пропорціональныя синусамъ дугъ, считаемыхъ отъ начала хорды до подошвы каждаго перпендикуляра: вершины перпенди-

куляровъ будутъ точки кривой. Ордината средней точки D есть

$$DE = 1.75193\ AD \ldots . (11)$$

Пусть x означаетъ длину абсисы BX, считаемой отъ одной изъ оконечностей кривой; y длину соотвѣтствующей ординаты, она опредѣляется уравненіемъ

$$y = DE \times \sin \frac{90^0 \times x}{BE} \ldots (12)$$

а величина полухорды BE есть

$$BE = 2.75193\ AD \times \text{tang } {}^1/_2\ BAC \ldots . (13)$$

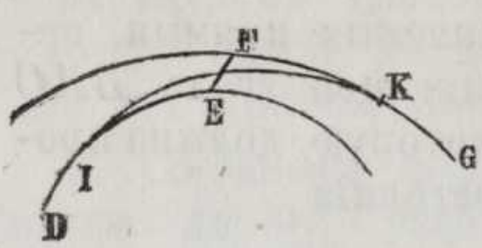
Наибольшая кривизна есть у точки D, гдѣ радіусъ равенъ

$$DE \times \text{tang}^2\ {}^1/_2\ BAC. \ldots . (14)$$

Если возвышеніе наружнаго рельса у D соотвѣтствуетъ радіусу кривизны, то въ другихъ точкахъ кривой, оно можетъ быть принято пропорціональнымъ ординатамъ.

Форма кривой близко подходитъ къ той, которую принимаетъ упругая пластина, имѣющая одно и то-же поперечное сѣченіе на всемъ протяженіи, когда концы ея стянуты струною или тетивою.

3. *Соединить дугу круга съ прямою линіею или съ другою дугою круга, когда онъ не касаются между собою, посредствомъ сопрягающей линіи* Фроуда. Чертежъ 276 представляетъ примѣръ двухъ дугъ, имѣющихъ разностороннюю кривизну, а чертежъ 279 двухъ дугъ, которыя имѣютъ кривизну въ одну сторону.



Черт. 279.

Отыщите двѣ такія точки, въ которыхъ кривыя ближе всего находятся одна къ другой. Для этого лучше всего, найти прежде на данныхъ кривыхъ двѣ пары точекъ, находящихся въ одинакихъ разстояніяхъ, среднія между ними будутъ ближайшія между собою. Пусть E и F найденныя такимъ образомъ точки: измѣрьте разстоя-

ніе между ними и вычислите длину половины сопрягающей линіи по слѣдующей формулѣ, въ которой r и r' суть радіусы связываемыхъ дугъ

$$EI = FK = \sqrt{\left[6EF : \left\{\frac{1}{r} \pm \frac{1}{r'}\right\}\right]} \quad \ldots \quad (15)$$

Знакъ + берется при кривизнахъ въ разныя стороны, а — при линіяхъ, имѣющихъ кривизну въ одну сторону. Въ случаѣ прямой линіи одно изъ отношеній $1 : r$ или $1 : r^1$ есть 0, и формула принимаетъ видъ

$$EI = FK = \sqrt{6\,EF \times r} \quad \ldots \quad (16)$$

Оконечности сопрягающей линіи могутъ быть найдены приблизительно отысканіемъ на данныхъ кривыхъ такихъ точекъ, гдѣ взаимное ихъ разстояніе есть 4 *EF*.

Сопрягающая линія разбивается, какъ указано въ ст. IV этого §.

VII. *Уширеніе пути въ закругленіяхъ.* Для того, чтобы облегчить поѣздамъ проходъ по кривымъ линіямъ, нѣкоторые инженеры уширяютъ путь на полдюйма противъ того, какимъ онъ бываетъ въ прямыхъ частяхъ дороги: такъ что если зазоръ колесъ на прямой линіи есть полдюйма, на кривой части дороги онъ будетъ въ цѣлый дюймъ.

VIII. *Законная величина радіусовъ кривизны* въ Россіи есть 300 саженъ. По англійскому уставу желѣзныхъ дорогъ радіусы, показанные на парламентскомъ планѣ бо́льшими полумили (377 саженей), могутъ быть при выполненіи уменьшены до полумили; радіусы, показанные меньшими полумили, не могутъ быть уменьшаемы. Отступленія отъ этого на основаніи уважительныхъ причинъ разрѣшаются министерствомъ торговли.

435. Общія правила начертанія желѣзныхъ дорогъ тѣ-же, какія указаны въ §§ 413 и 414 для дорогъ вообще; относительно уклоновъ и кривыхъ должно держаться того, что высказано въ предъидущихъ §§ этого отдѣла.

Слѣдующія правила относятся собственно до желѣзныхъ дорогъ.

1. *Ширина полотна* зависитъ отъ ширины пути, числа путей, разстоянія между ними, пустаго пространства по сторонамъ каждаго пути для выступа экипажей, откосовъ баласта, боковыхъ канавъ и т. п.

Дорога	въ одинъ путь.		въ два пути.	
Пространство внѣ рельсовъ . .	3 ф. 4 д.	=0.476 с.	3 ф. 4 д.	=0.476 с.
Голова рельса.	2 1/2 »	=0.030 »	2 1/2 »	=0.030 »
Ширина пути .	5 »	=0.714 »	5 »	=0.714 »
Голова рельса.	2 1/2 »	=0.030 »	2 1/2 »	=0.030 »
Разстояніе между путями			7 »	=1.000 »
Голова рельса.			2 1/2 »	=0.030 »
Ширина пути .			5 »	=0.714 »
Голова рельса.			2 1/2 »	=0.030 »
Пространство внѣ рельсовъ. . .	3 » 4	» =0.476 »	3 » 4	» =0.476 »
Наименьшая ширина вверху баласта	12 ф. 1 д.	=1.726 с.	24 ф. 6 д.	=3.5 с.
Откосы баласта, обочины	12 » 5	» =1.774 »	7 » 8 1/3	» =1.1 »
Ширина полотна вверху насыпей	24 » 6	» =3.5 »	32 » 4 1/3	» =4.6 »

Въ выемкахъ полотно бываетъ иногда той-же ширины, но чаще оно дѣлается на 19 футовъ шире для того, чтобы дать больше мѣста боковымъ канавамъ.

Мосты надъ желѣзною дорогою рѣдко имѣютъ отверстіе, равное наименьшей ширинѣ вверху баласта, или 12 ф. при одномъ и 24 1/2 ф. при двухъ путяхъ, обыкновенно болѣе; только въ тонеляхъ отверстіе свода дѣлается равнымъ этой предѣльной ширинѣ. Въ Россіи это разстояніе должно быть въ 28 1/2 футовъ при дорогѣ въ два, и 16 ф. при дорогѣ въ одинъ путь.

Когда откосы выемки поддержаны каменными стѣнами, тогда разстояніе между ними равно бываетъ отверстію мостовъ; равная этому ширина дается полотну въ выемкахъ при скалистомъ грунтѣ, который можетъ держаться отвѣсно.

II. *Поверхность полотна* бываетъ на $1^1/_2$ или 2 фута ниже уровня рельсовъ, что зависитъ отъ толщины баласта; поверхность полотна назначается на исполнительныхъ чертежахъ въ отвѣсныхъ прорѣзахъ цвѣтной линіей.

III. *Покатъ поверхности полотна* придается для облегченія стока воды отъ оси дороги къ боковымъ канавамъ и имѣетъ уклонъ около $^1/_{60}$.

IV. *Воронки*, дѣлаемыя для осушенія полотна, располагаются поперегъ дороги въ разстояніи отъ 9 до 15 ф. одна отъ другой; глубина имъ даегся отъ 7 до 9 дюймовъ и ихъ наполняютъ щебнемъ.

V. *Расположеніе станцій относительно уклоновъ*. Хоть иногда необходимо бываетъ помѣщать станціи на уклонахъ, однакожъ инженеръ долженъ избѣгать этого по возможности, потому что такое помѣщеніе станцій затрудняетъ остановку спускающихся поѣздовъ и отправленіе поднимающихся вверхъ, а также маневры на станціи и передвиженіе вагоновъ. Напротивъ того, очень удобно помѣстить станцію на хребтѣ, такъ чтобы дорога шла отъ нея спусками въ обѣ стороны, потому что это расположеніе облегчаетъ какъ остановку приближающихся, такъ и отправленіе удаляющихся поѣздовъ. Разстояніе между станціями русскихъ желѣзныхъ дорогъ не должно превосходить 25 верстъ.

VI. *Уклоненія отъ утвержденнаго проекта* въ Англіи допускаются слѣдующія: ось дороги можетъ быть отнесена въ ту или другую сторону въ населенномъ мѣстѣ на 30 фут., въ ненаселенномъ на 300 футовъ; она можетъ быть повышена или понижена противъ утвержденнаго проекта на 2 фута въ населенномъ и на 5 фут. въ ненаселенномъ мѣстѣ. Бо́льшія противъ этого отклоненія отъ утвержденнаго проекта требуютъ особенныхъ разрѣшеній.

Уклоны меньшіе $^1/_{100}$ могутъ быть сдѣланы круче на $^1/_{528}$ (10 фут. на милю); уклоны въ $^1/_{100}$ можно сдѣлать круче на $^3/_{5280}$. Право уменьшать уклоны не ограничено законами.

Въ Россіи уклоны желѣзныхъ дорогъ не должны превышать 0,008 или $^1/_{125}$.

436. Переѣзды чрезъ другіе пути и ихъ измѣненіе. Когда вновь строимая желѣзная дорога пересѣкаетъ существующую такую-же или обыкновенную, тогда она можетъ быть проведена выше ея, ниже или въ ея уровнѣ: въ первыхъ двухъ случаяхъ нужно устроить мостъ. При встрѣчѣ съ каналомъ переѣздъ въ уровнѣ невозможенъ и желѣзная дорога должна пройти надъ каналомъ или подъ нимъ. Для того чтобы облегчить устройство переѣзда, можетъ понадобиться измѣнить направленіе или уровень существующей дороги; иногда такое измѣненіе въ начертаніи дороги можетъ быть нужно даже и тогда, когда переѣзда чрезъ нее не предполагается: во всякомъ случаѣ, приходится дѣлать насыпи и выемки. Тѣ части дороги, которыхъ уровень измѣняется могутъ быть названы *подходами* къ переѣзду.

Данныя, которыя надобно собрать, для того, чтобы составить проектъ переѣзда, указаны въ § 14: всѣ измѣненія, какія потребуется сдѣлать, должны быть показаны на планѣ. Объ исполнительныхъ прорѣзахъ этихъ измѣненій было говорено въ § 66.

Переѣзды въ уровнѣ допускаются въ томъ только случаѣ, когда слишкомъ убыточно устроить мостъ. Переѣздъ долженъ быть съ воротами, которыя помѣщаются въ 3 саженяхъ отъ оси ближайшаго пути, ихъ надобно держать запертыми поперегъ проѣзжаго пути во время движенія по желѣзной дорогѣ: хорошо устраивать эти ворота такъ, чтобъ они запирали желѣзную дорогу, при открытіи проѣзда по обыкновенной.

Ширина переѣзда должна быть равна ширинѣ дороги, а уголъ пересѣченія дорогъ долженъ быть не менѣе 45^0.

Верховые мосты (over-bridges) для проведенія проѣзжей дороги надъ желѣзною, должны имѣть между перилами ширину $3^1/_2$ саженъ для шоссе, 3 саженъ для городскихъ улицъ, почтовыхъ и торговыхъ дорогъ, и 2 саженъ для сельскихъ и полевыхъ дорогъ

Перила такого моста должны быть по крайней мѣрѣ въ 4 фута высоты, и ограда на подходахъ къ нему не ниже 3 футовъ.

Пяты каменныхъ сводовъ должно помѣщать не ниже 8,4 фута надъ уровнемъ рельсовъ, подкосы деревянныхъ

мостовъ должны начинаться на высотѣ не меньшей $10^1/_2$ футовъ; высота чистаго проѣзда подъ каменными и металлическими арками, должна быть въ 18,2 фута, а подъ деревянными балками 21 футъ, считая отъ уровня рельсовъ.

На время возведенія моста надобно устроить временный объѣздъ; часто оказывается надобность измѣнить направленіе проѣзжей дороги, тогда старая дорога можетъ служить временною, до устройства новой.

Низовые мосты (under-bridges), которыми желѣзная дорога проводится надъ проѣзжею, должны имѣть отверстія для шоссе въ 3,5 сажени, для городскихъ улицъ, почтовыхъ и торговыхъ дорогъ 3 сажени, для сельскихъ и полевыхъ дорогъ 2 сажени. Наименьшая высота въ свѣту надъ уровнемъ дороги должна быть при арочной системѣ $2^1/_2$ сажени до ключа, при балочной системѣ 2 сажени до нижняго бруса.

Полотно верховаго моста надъ желѣзною дорогою можетъ быть поддержано металлическими балками, расположенными въ разстояніи 5 футовъ одна отъ другой; а между балками можно помѣстить поперечные кирпичные своды, опирающіеся на балки, которыя стянуть струнами для того, чтобы дать сопротивленіе распору; можно замѣнить эти своды чугунными плитами съ выступающими ребрами, или употребить выпуклые желѣзные листы § 275 ст. V; эту настилку надобно покрыть асфальтовымъ цементомъ.

Толщина устоевъ такого моста бываетъ обыкновенно отъ $^1/_5$ до $^1/_6$ величины отверстія, а контрфорсы при устояхъ составляютъ третью долю ихъ объема. Откосныя крылья моста суть стѣны поддерживающія землю (§§ 265—268); толщина ихъ у основанія бываетъ въ $^1/_4$ или $^1/_3$ высоты, и вдвое меньше этого у вершины: увеличеніе толщины къ основанію производится уступами съ задней стороны стѣны, а лицевая грань отклоняется отъ отвѣсной плоскости на $^1/_{12}$.

Мосты чрезъ глубокія и широкія долины могутъ быть въ три или пять пролетовъ.

При начертаніи продольнаго профиля желѣзной дороги, инженеръ долженъ имѣть въ виду пересѣченія съ

проѣзжими дорогами, которыя онъ встрѣтитъ, и помнить что земляныя работы устройства подходовъ проѣзжей дороги часто обходятся дороже такихъ-же работъ желѣзной дороги. Надобно стараться имѣть какъ можно менѣе путепроводовъ, превосходящихъ наименьшій, установленный законами размѣръ: надлежащая высота достигается частью возвышеніемъ или пониженіемъ желѣзной дороги, относительно проѣзжей, частью измѣненіемъ высоты уровня послѣдней.

Обыкновенно высота уровня проѣзжей дороги, если она была тщательно обсуждена, соотвѣтствуетъ наименьшему количеству работы; по этому вообще выгодно дѣлать переѣздъ чрезъ такія дороги въ уровнѣ, независимо выгодъ отъ избѣжанія постройки моста: но выборъ того или другаго рода переѣзда зависитъ отъ того, не будетъ ли представляться какой-нибудь опасности отъ большаго движенія по переѣзду черезъ дорогу въ уровнѣ; сверхъ того, надобно помнить, что при этомъ переѣздѣ содержится постоянный сторожъ.

Когда проѣзжую дорогу оказывается нужнымъ понизить, то слѣдуетъ позаботиться о томъ, чтобы было куда отвести воду изъ выемки.

Наиболѣе трудностей представляетъ переѣздъ чрезъ каналъ. Уровень его бываетъ обыкновенно самый выгодный относительно количества земляныхъ работъ; онъ не можетъ быть измѣненъ и устройство въ немъ переѣзда невозможно; полотно дороги въ ближайшемъ уровнѣ къ уровню канала можетъ быть проведено по наплавному мосту, который неудобенъ при значительномъ движеніи.

При устройствѣ моста чрезъ каналъ, надобно дать ему отверстіе достаточное для помѣщенія канала и его бичевника безъ измѣненія ихъ ширины; надобно позаботиться о томъ, чтобы при выведеніи основаній мостовыхъ устоевъ не нанести вреда каналу; для избѣжанія потери воды можетъ быть понадобится при этомъ возведеніе перемычекъ (§ 409). Арки должны имѣть надъ уровнемъ бичевника 10 или даже 12 футовъ для свободнаго проѣзда верхомъ.

Переѣздъ подъ каналомъ устраивается посредствомъ тонеля, помѣщеннаго на достаточной глубинѣ, или по-

средствомъ каналопроводнаго моста; при чемъ каналъ отводится на время въ сторону, если предполагается оставить его на мѣстѣ; а когда каналъ предполагается отклонить, тогда каналопроводный мостъ устраивается на новой линіи и по окончаніи его вода въ него направляется, а старое русло канала уничтожается.

Подробныя правила устройства мостовъ изложены далѣе.

437. Баластъ есть та часть пути, которая представляетъ твердое и сухое основаніе для рельсовъ и поддерживающихъ ихъ шпалъ; въ немъ различаютъ иногда два слоя; нижній, который весь ниже шпалъ, и верхній (boxing), окружающій шпалы, подушки и рельсы, поверхность его бываетъ на два или на три дюйма ниже уровня рельсовъ.

Объ ширинѣ баласта было говорено въ § 435; толщина его дѣлается разными инженерами различная:

нижній слой, отъ	9	дюймовъ	до	1	фута	6	дюймовъ.
верхній слой, отъ	6	»	»			9	»
вся толщина, отъ	1 ф.	3	дюймовъ	до	2. фут.	3	дюймовъ.

При производствѣ изысканій объ устройствѣ желѣзной дороги должно обращать особенное вниманіе на карьеры для добыванія баласта.

Лучшій матеріалъ для баласта есть щебень или камень, разбитый въ куски, вѣсомъ не болѣе 40 золотниковъ, какъ для шоссе (§ 420), но порода его можетъ быть не такая твердая, какая нужна для проѣзжихъ дорогъ; довольно, если онъ имѣетъ твердость достаточную для возведенія изъ него построекъ. Быстро разрушающійся отъ дѣйствія воздуха и сырости камень не годится для баласта. При недостаткѣ годнаго на этотъ предметъ камня можно употреблять шлакъ съ чугуннолитейныхъ заводовъ, разбитый въ куски надлежащей величины; или отброски съ квасцовыхъ заводовъ, это есть обожженная глина; или наконецъ каменноугольную золу. За битымъ камнемъ второе мѣсто занимаетъ, какъ баластный матеріалъ, чистый гравій, куски его, которые вѣсятъ болѣе 40 золотниковъ, надобно разбивать; можно-бы употреблять и мелкій песокъ, но онъ представляетъ нѣкоторыя неудобства, а именно: при сильномъ дождѣ можетъ быть размытъ, а въ очень сухое

время уносится вѣтромъ, попадаетъ во вращающіяся части подвижнаго состава и увеличиваетъ сопротивленіе движенію. За недостаткомъ другихъ матеріаловъ можно употребить обозженные комья глины, которые разбить въ мелкіе куски; степень обжиганія должна быть та-же, что для кирпича; качества годной для этого глины, указаны въ § 219.

Разсыпка баласта по дорогѣ требуетъ въ два или два съ половиною раза больше работы противъ вырытія такого-же количества гравія.

438. Шпалами называется то, что кладется на баластъ, плотно уколачивается въ немъ и поддерживаетъ рельсы. На первыхъ желѣзныхъ дорогахъ употребляли для этого камни, ихъ клали въ разстояніи 3 футовъ центръ отъ центра и давали имъ на желѣзно-конныхъ дорогахъ въ длину $1^1/_2$, въ ширину 1, а въ толщину $^3/_4$ фута; на паровозныхъ дорогахъ 2 фута длины и ширины при 1 футѣ толщины; но они оказались слишкомъ жесткой подкладкой для движенія съ большою скоростью, и эта жесткость не уменьшалась даже употребленіемъ войлока, который клали подъ подушки, а потому ихъ совершенно оставили въ пользу *деревянныхъ шпалъ*.

Лучшее дерево для шпалъ есть то, которое наилучшимъ образомъ противостоитъ переходамъ отъ сухости къ сырости и обратно: такова изъ Европейскихъ деревьевъ Лиственица (§ 302). Чтобы предохранить дерево отъ скорой порчи, прибѣгали къ разнымъ средствамъ: лучшимъ веществомъ оказывался креозотъ (§ 450).

Деревянныя шпалы могутъ быть поперечныя или продольныя: первыя хороши тѣмъ, что удерживаютъ рельсы въ параллельномъ положеніи, вторыя даютъ всему рельсу непрерывную опору.

Поперечныя шпалы имѣютъ около 9 футовъ въ длину, 9—10 дюймовъ въ ширину и $4^1/_2$—5 дюймовъ въ толщину. Обыкновенная ихъ форма въ поперечномъ сѣченіи круглая или триугольная. Полукруглую шпалу приготовляютъ распиливая бревно пополамъ вдоль; кладутъ его на баластъ плоскою стороною, а на верхней полукруглой сторонѣ дѣлаютъ врубки для помѣщенія подушекъ или рельсовъ, дно врубки должно быть плоское и въ немъ

просверливаются дыры для гвоздей или костылей, которыми подушка или рельсъ утверждается на шпалѣ. Треугольная шпала приготовляется распиливаніемъ квадратнаго бруса вдоль по діагональной плоскости, кладется шпала прямоугольнымъ ребромъ внизъ. Разстояніе шпалъ бываетъ отъ $2^1/_2$ до 4 футовъ; но оно теперь рѣдко превосходитъ 3 фута, потому что большія разстоянія вызываютъ увеличенныя напряженія въ рельсахъ; разстоянія эти не вездѣ дѣлаютъ равными: у средины рельса они больше, а у краевъ его меньше.

Продольныя шпалы или *лежни* имѣютъ ширину 12—14 дюймовъ, а толщину 6—7 дюймовъ и приготовляются распилкою пополамъ квадратныхъ брусьевъ. Рельсъ можетъ на такой шпалѣ лежать всею своею длиною или поддерживаться подушками, расположенными въ разстояніи $2^1/_2$ или 3 футовъ одна отъ другой: при непрерывной поддержкѣ рельса на верхъ шпалы кладется привинченная къ ней доска 7—8 дюймовъ ширины и $1^1/_4$ дюйма толщины, которая уже служитъ подкладкою рельсу. Для сохраненія паралелизма рельсовъ, лежни надобно связывать поперечными тяжами, располагаемыми чрезъ 15—18 футовъ: баластъ подъ лежнями долженъ быть проницаемъ водою, иначе она будетъ оставаться на пути между лежнями.

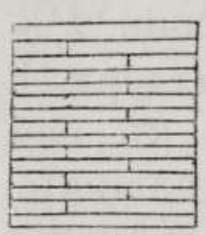
Иногда соединяютъ лежни съ поперечными шпалами, послѣднія кладутся тогда внизу, и ихъ размѣры въ этомъ случаѣ могутъ быть меньше нежели тогда, когда онѣ употребляются однѣ, а именно, онѣ могутъ имѣть длину 7 футовъ, ширину 7 дюймовъ и толщину $3^1/_2$ дюйма.

Чугунныя шпалы бываютъ разныхъ формъ. Г. Гривсъ отливаетъ большую подушку, и даетъ основанію ея форму опрокинутой чаши, вверху есть двѣ дыры, сквозь которыя можно наполнять пустоту баластнымъ матеріаломъ и его уколачивать; для сохраненія паралелизма употребляются поперечныя прутья. Чугунные лежни Самуеля имѣютъ форму съуженныхъ къ низу жолобовъ съ широкими наклонными крыльями, которыми они опираются на баластъ; рельсъ удерживается въ жолобѣ деревянными клиньями.

Употребляли чугунныя доски съ подушками вмѣстѣ

съ ними отлитыми, а также чугунные жолобы, наполненные деревомъ, на которомъ лежали подушки.

439. Рельсы и подушки. Рельсъ приготовляется изъ желѣза разныхъ сортовъ: на средину идетъ пудлинговое желѣзо или мильбарсъ, для пяты и головы берутъ одно или двусварочное желѣзо, которое получено изъ мильбарса сложеннаго въ пакеты, вновь нагрѣтаго и прокатаннаго въ обжимочныхъ валькахъ. Объ дѣйствіи повтореннаго нагрѣванія и свариванія желѣза, было говорено въ § 355. На голову употребляютъ болѣе твердое желѣзо нежели на пяту, иногда-же и пудлинговую сталь. Употребленіе низкихъ сортовъ желѣза на выдѣлку рельсовъ съ цѣлью ихъ удешевленія очень не выгодно, потому что такое желѣзо скоро стирается, трескается иломается.



Черт. 280.

Чертежъ 280 представляетъ пакетъ для приготовленія рельса; вверху и внизу на перекрышку взяты цѣльныя полосы, а въ срединѣ узкія полосы расположены въ перевязку.

Размѣры пакета бываютъ отъ 6 дюймовъ ширины и 7 толщины, до 9 дюймовъ ширины и 10 толщины, длина-же пакету дается такая, чтобъ вѣсъ его превосходилъ на одну четверть вѣсъ выдѣлываемаго изъ него рельса.

Рельсъ долженъ быть приготовленъ съ одного нагрѣва, послѣ чего его должно тотчасъ-же обрѣзать въ надлежащую длину посредствомъ двухъ круглыхъ пилъ, какъ упомянуто въ § 366: плоскости обрѣза должны быть совершенно перпендикулярны къ длинѣ рельса. Обыкновенная длина рельса есть отъ 15 до 21 фута.

Вѣсъ десяти погонныхъ футовъ рельса, содержитъ почти столько-же пудовъ, сколько имѣется квадратныхъ дюймовъ въ площади его поперечнаго сѣченія.

Вѣсъ погоннаго фута рельса желѣзно-конной дороги бываетъ отъ $^1/_4$ до $^5/_{16}$ пуда; на первыхъ паровозныхъ дорогахъ употребляли рельсы вѣсомъ въ $^1/_2$ пуда на погонный футъ, но съ увеличеніемъ вѣса паровозовъ и скорости движенія увеличили и вѣсъ рельсовъ, который бываетъ теперь отъ $^5/_8$ до $^9/_{10}$ пуда на погонный футъ.

Изъ сравненія вѣса рельсовъ съ вѣсомъ паровозовъ, можно вывести правило, что погонный футъ рельса долженъ имѣть по $5^1/_2$ фунтовъ вѣсу на каждую тонну нагрузки ведущаго колеса; когда рельсъ поддержанъ лежнемъ по всей своей длинѣ, тогда вѣсъ его можетъ быть на одну шестую меньше.

Голова рельса имѣетъ обыкновенно ширину $2^1/_2$ дюйма съ легкою выпуклостью, описанною радіусомъ въ 5 или 7 дюймовъ. Рельсы укладываются въ надлежащемъ разстояніи одинъ отъ другаго при помощи желѣзнаго шаблона. На прямолинейной части дороги головы двухъ рельсовъ каждаго пути, должны быть въ одномъ уровнѣ, а въ кривыхъ частяхъ наружный рельсъ долженъ имѣть извѣстное возвышеніе надъ внутреннимъ (§ 434). При подвижномъ составѣ съ цилиндрическими ободьями колесъ, средняя точка головы рельса должна быть касательна къ горизонтальной линіи въ прямыхъ частяхъ дороги, а въ закругленіяхъ къ линіи, которой наклоненіе къ горизонту, соотвѣтствуетъ возвышенію наружнаго рельса надъ внутреннимъ.

При коническихъ колесахъ рельсы должны имѣть къ срединѣ пути такой наклонъ, чтобы среднія точки головы ихъ касались поверхности ободьевъ колесъ: наклонъ этотъ дается имъ при употребленіи подушекъ самою формою подушекъ, которыхъ щеки удерживаютъ рельсъ въ наклонномъ положеніи.

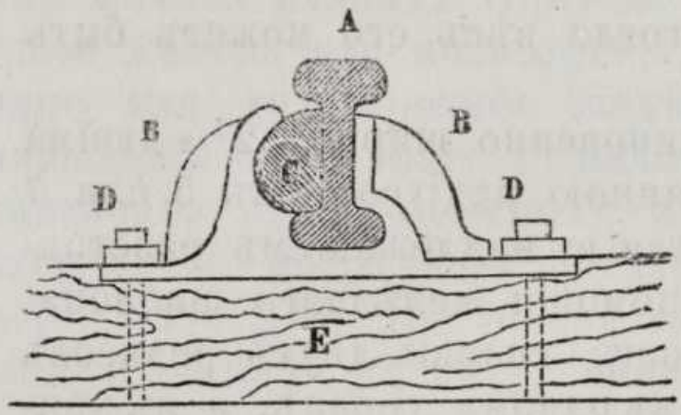
Форма рельса въ поперечномъ сѣченіи измѣняется со способомъ его укрѣпленія или поддержки. Въ этомъ отношеніи рельсъ можетъ быть:

1. Поддержанъ съ низу и съ боковъ.
2. Поддержанъ только съ низу.
3. Поддержанъ только съ боковъ.

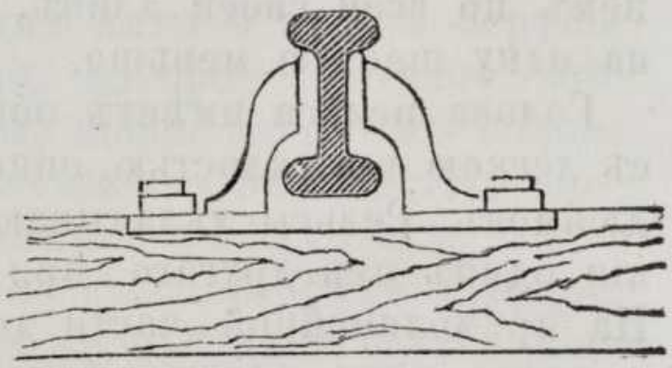
Поддержка можетъ быть непрерывная или въ отдѣльныхъ точкахъ.

На чертежахъ 281—284 представлены рельсы двухголовные: такая форма была придумана для того, чтобы можно было оборотить рельсъ, когда верхняя голова его сотрется; но опытъ показалъ, что рельсъ съ испорченною

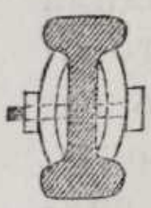
головою негоденъ къ употребленію. Вѣсъ погоннаго фута такого рельса есть 27 1/2 фунтовъ или 11/16 пуда, а высота 5 дюймовъ. На чертежѣ 281, рельсъ *A* представленъ

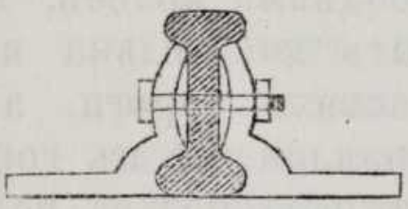


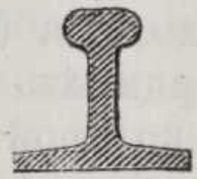
Черт. 281.

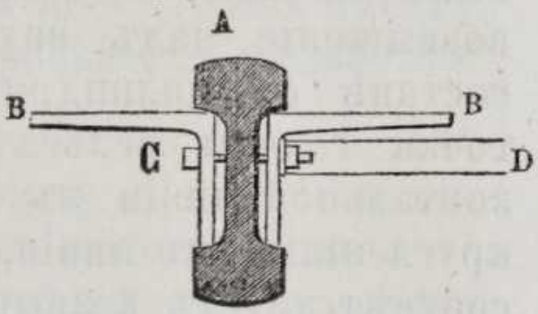


Черт. 282.









Черт. 283. Черт. 284. Черт. 285. Черт. 286.

утвержденнымъ въ подушкѣ *B* клиномъ *C* изъ прессованнаго дуба, который загнанъ между рельсомъ и наружной щекою подушки; деревянные костыли *D*, *D* прикрѣпляютъ подушку къ шпалѣ *E*.

Внутренняя поверхность щекъ подушки закалена (§ 353); вѣсъ обыкновенной подушки равенъ вѣсу погоннаго фута поддерживаемаго ею рельса; *стыковая подушка*, гдѣ сходятся концы двухъ рельсовъ бываетъ на треть или половину тяжелѣе, она прикрѣпляется къ шпалѣ двумя костылями съ наружной стороны, а не однимъ. На чертежѣ 282, изображена стыковая подушка, введенная г. Уильямомъ Джонстономъ, щеки ея плотно прилегаютъ къ рельсу, который въ нее вкладывается: такая подушка оказалась на дѣлѣ хороша.

Теперь вошло въ употребленіе соединять рельсы посредствомъ *боковыхъ накладокъ* или щекъ; рельсы поддержаны подушками, которыя помѣщены на разстояніи 12 или 15 дюймовъ отъ ихъ концовъ, и эти выступающіе концы обхватываются помѣщенными съ боковъ накладка-

ми, которыя связаны между собою и сквозь рельсъ четырьмя болтами. Такое соединеніе показано на чертежѣ 283, гдѣ накладки упираются краями въ голову и пяту рельса и дѣйствуютъ, какъ клинья. Дыры для болтовъ въ рельсахъ дѣлаются, не круглыя, а продолговатыя для того, чтобы не препятствовать измѣненію длины рельсовъ при перемѣнахъ температуры, которое можетъ доходить до $^1/_{2000}$ или $^1/_{2500}$ доли длины рельса.

На чертежѣ 284 показаны боковыя накладки изъ угловаго желѣза, онѣ замѣняютъ стыковую подушку; горизонтальными гранями прикрѣпляются онѣ къ двумъ поперечнымъ шпаламъ, лежащимъ одна возлѣ другой.

Изъ рельсовъ, имѣющихъ широкую пяту и лежащихъ на шпалахъ безъ подушекъ, укажемъ на Американскій рельсъ или Виньолиса (чер. 285), который прикрѣпляется къ шпаламъ или лежнямъ костылями, помѣщаемыми съ боковъ его, также на рельсы чертежей 229 и 230.

Первый, введенный г. Макнейлемъ и употребляемый въ Ирландіи, имѣетъ 3—5 дюймовъ высоты и 7 или 6 дюймовъ ширины въ основаніи, онъ прикрѣпляется къ шпалѣ костылями съ боковъ или гвоздями, для которыхъ сдѣланы дыры въ его пятѣ. При непрерывной поддержкѣ на продольномъ лежнѣ погонный его футъ имѣетъ вѣсу $^3/_5$ пуда, а когда онъ поддержанъ въ отдѣльныхъ точкахъ поперечными шпалами, тогда вѣсъ погоннаго фута его долженъ доходить до $^3/_4$ пуда. Въ послѣднемъ случаѣ каждый стыкъ укрѣпляется парою чугунныхъ щекъ, помѣщаемыхъ по сторонамъ пятъ рельсовъ и связанныхъ поперечными болтами, которые проходятъ подъ рельсами.

Рельсъ Барлоу дѣлается теперь съ крыльями, у которыхъ конечныя части горизонтальны, и ближе подходитъ къ рельсу Макнейля, нежели показано на чер. 230, ширина его пяты 1 футъ, высота 5 или 6 дюймовъ, а вѣсъ погоннаго фута его есть отъ 0,8 до 0,9 пуда. Онъ лежитъ прямо на баластѣ безъ подушекъ и шпалъ, удерживается въ параллельномъ положеніи съ другимъ рельсомъ того-же пути посредствомъ брусковъ изъ угловаго желѣза.

Стыкъ похожъ на стыкъ съ накладками, а именно каждый рельсъ прикрѣпляется болтами, проходящими сквозь

продолговатыя дыры къ *сѣдлу* (saddle piece): это желѣзный брусокъ длиною 3 фута, форма его жолобчатая похожая на форму рельса, и онъ входитъ плотно въ его пустоту съ низу.

Поддержка рельсовъ съ боковъ подъ выступы уширенной головы, которая предпочтительнѣе всѣхъ другихъ по быстротѣ укладки, была приложена лѣтъ двадцать тому назадъ г. Давидомъ Ренкиномъ къ низкимъ рельсамъ съ одной головой на желѣзно-конныхъ дорогахъ; но ее нельзя было употребить при высокихъ рельсахъ паровозныхъ дорогъ безъ того усовершенствованія, которое въ ней сдѣлано г. Адамсомъ.

Чертежъ 286 представляетъ *балочный рельсъ* (suspended girder rail) Адамса, въ которомъ отвѣсное ребро или стержень не подверженный сжиманію дѣлается тоньше и выше нежели въ обыкновенныхъ рельсахъ, такъ что при высотѣ 7 дюймовъ рельсъ имѣетъ $^3/_4$ пуда вѣсу на погонный футъ.

Рельсъ A, имѣетъ непрерывную поддержку подъ выступами головы на парѣ полосъ угловаго желѣза B, B; которыхъ нижнія вѣтви сжимаютъ пяту рельса; онѣ стянуты болтами C чрезъ каждые 3 фута, дыры для пропуска болтовъ продолговатыя; D есть поперечный брусокъ, связывающій два рельса одного пути. Общая ширина полосъ B между концами горизонтальныхъ вѣтвей есть отъ 9 до 14 дюймовъ, смотря по величинѣ провозимыхъ грузовъ; вѣтви эти лежатъ прямо на баластѣ. Стыки рельсовъ и боковыхъ полосъ расположены въ перевязку.

Полосы угловаго желѣза можно замѣнить деревянными брусьями, пропитанными креозотомъ, квадратнаго сѣченія около 5 дюймовъ въ сторонѣ.

440. Рельсы на переѣздахъ въ уровнѣ. Когда путь проѣзжей дороги изъ щебня, тогда желѣзный путь можетъ быть проложенъ поперегъ ея безъ всякаго измѣненія, головы рельсовъ должны возвышаться надъ поверхностью проѣзжей дороги на $^3/_4$ дюйма. На переѣздѣ не должно быть ни стрѣлокъ, ни крестовинъ; разстояніе между рельсами на переѣздѣ никогда не должно быть ме-

нѣе 6 дюймовъ, иначе копыта лошадей будутъ попадать между ними и портиться, а въ морозъ шипы подковъ обламываться и попадать между рельсами.

Переѣздъ чрезъ мощеную дорогу можетъ быть также сдѣланъ изъ обыкновенныхъ рельсовъ, нужно только у боковъ ихъ сдѣлать въ мостовой борозды для закраины колеса.

Иногда на переѣздахъ употребляютъ рельсы особенной формы, жолобчатые; жолобъ имѣетъ $2^1/_2$ дюйма ширины и $1^1/_2$ дюйма глубины, внѣшняя грань жолоба замѣняетъ голову рельса и имѣетъ ширину $2^1/_2$ дюйма, внутренняя грань, т. е. ближайшая къ срединѣ пути можетъ быть той-же ширины, если предполагается современемъ оборотить рельсъ, или меньшей ширины.

441. Соединеніе и развѣтвленіе желѣзныхъ путей. Подвижныя телѣжки. Поворотные платформы и круги. I. *Соединеніе* или *развѣтвленіе* двухъ желѣзныхъ путей производится или посредствомъ пары утоненныхъ къ концу передвижныхъ рельсовъ, называемыхъ *стрѣлками*, они связаны между собою и перемѣщаются дѣйствіемъ одной рукояти; или посредствомъ одной *стрѣлки* съ той стороны, гдѣ поѣздъ, оставляя главный путь, сходитъ на вѣтвь и *языка* на другой сторонѣ. Первое устройство считается лучшимъ при большомъ движеніи.

Обыкновенно разстояніе отъ оси вращенія стрѣлокъ до крестовины, гдѣ два пути совершенно развѣтвляются, бываетъ около 14 саженъ, такъ что если одинъ изъ путей прямой, то другой описанъ радіусомъ во 100 саженей.

Самодѣйствующія стрѣлки снабжаются гирею, которая ихъ удерживаетъ въ положеніи, соотвѣтствующемъ главному пути, а для того чтобы онѣ были направлены на боковой путь, надобно ихъ удерживать силою. Рукояти при стрѣлкахъ должны имѣть такую форму и такой цвѣтъ, чтобъ можно было издали знать ихъ положеніе.

Прежде съ боку постояннаго рельса дѣлали углубленіе для принятія конца стрѣлки, теперь при улучшенной формѣ стрѣлки этого не дѣлаютъ.

На сколько это возможно, стрѣлки главнаго пути должны быть расположены въ направленіи движенія; стрѣлки противъ движенія (facing-points), должны быть допускаемы въ крайнихъ случаяхъ и тогда надобно принять мѣры предосторожности противъ всхода поѣзда не на тотъ путь, куда слѣдуетъ.

II. *Переходъ съ одного пути на другой, ему параллельный*, производится тамъ, гдѣ есть мѣсто, посредствомъ косаго пути со стрѣлками на обоихъ концахъ. Длина такого перехода при 5-ти футовой ширинѣ пути и разстояніи 7 фут. между путями, бываетъ около 30 саженъ.

III. *Подвижная тележка* есть лучшее устройство для перевода подвижнаго состава съ одного пути на другой, ему параллельный, на конечной станціи дороги, когда нѣтъ мѣста для переводнаго пути. Это платформа съ парою рельсовъ такой величины, чтобъ на ней могъ помѣститься вагонъ или паровозъ съ тендеромъ, она поддержана колесами, которые ходятъ по рельсамъ, помѣщеннымъ ниже рельсовъ главнаго пути въ поперечномъ направленіи.

IV. *Поворотные круги* служатъ для перевода частей подвижнаго состава съ одного пути на другой, ему перпендикулярный или на пути, сходящіеся къ одному центру. Составныя части такого круга слѣдующія: каменный или бетонный фундаментъ; круглое отлитое изъ чугуна основаніе съ подпятникомъ по срединѣ и съ колеями для катковъ по окружности; рядъ коническихъ катковъ въ кольцеобразномъ станкѣ, вращающемся около подпятника; платформа, поддержанная снизу пятою по срединѣ и катками по окружности и имѣющая на верху одинъ или нѣсколько желѣзныхъ путей; при платформѣ долженъ быть замокъ, который удерживалъ-бы ее неподвижно въ данномъ положеніи.

Чѣмъ бо́льшая часть груза передается пятѣ и мѣньшая каткамъ, тѣмъ треніе меньше.

Платформа, плавающая въ резервуарѣ съ водою, придумана г. Адамсомъ.

Поворотные круги для отдѣльныхъ вагоновъ имѣютъ

отъ 12 до 14 фут. въ діаметрѣ, смотря по величинѣ вагоновъ; на нихъ помѣщаютъ два пути подъ прямымъ угломъ.

Поворотная платформа для паровоза бываетъ діаметромъ въ 40 фут. и рѣдко имѣетъ болѣе одной пары рельсовъ; вращеніе ея производится механизмомъ съ зубчатыми колесами. Такія платформы бываютъ нужны на станціяхъ для поворачиванія паровозовъ даже и безъ перевода ихъ на другой путь. Въ паровозныхъ зданіяхъ на платформахъ кладутъ иногда и два пути.

442. Станціи. Столбы. Телеграфъ. Лучшее мѣсто для станцій съ чисто инженерной точки зрѣнія и относительно кривыхъ линій и уклоновъ указывается правилами § 435. Къ этому можно прибавить то, что инженеръ долженъ изыскать средства для осушенія станціи и снабженія ея водою, а также позаботиться о доступѣ къ ней съ другихъ дорогъ для пассажировъ и товаровъ. Пассажирскія платформы помѣщаются на 2 или на 3 фута выше уровня рельсовъ; ихъ лучше всего дѣлать изъ поперечинъ положенныхъ на продольныя стѣны, оканчивать ихъ лучше плоскостями, имѣющими уклонъ въ $^1/_{10}$, нежели ступенями. Г. Кларкъ полагаетъ, что имъ слѣдуетъ давать ширину 20 фут., когда онѣ служатъ для одного пути, и 30 или 40 фут. для двухъ путей, но часто платформы имѣютъ мѣньшую ширину. Крышу надобно устроивать общую надъ всей станціей; если понадобятся промежуточныя опоры, то ихъ надобно ставить по срединѣ платформъ, а не у краевъ; разстояніе этихъ опоръ отъ пути не должно быть менѣе 4 фут.; должно заботиться объ способахъ провѣтриванія крытыхъ помѣщеній.

Пространство, назначаемое для станцій, и ихъ устройство, какъ зависящія отъ величины движенія и способовъ сдѣлать его удобнымъ, не относятся къ числу предметовъ этого сочиненія.

По линіи желѣзной дороги выставляются полуверстовые столбы, а также столбы во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ

происходитъ измѣненіе уклоновъ: послѣднее необходимо для машиниста при паровозѣ.

При короткихъ промежуткахъ между отправленіями и прибытіями поѣздовъ, необходимо имѣть электрическій телеграфъ между станціями для большей безопасности движенія.

ГЛАВА II.

СОБИРАНІЕ, ПРОВЕДЕНІЕ И РАСПРЕДѢЛЕНІЕ ВОДЪ.

ОТДѢЛЪ 1. ТЕОРІЯ ДВИЖЕНІЯ ВОДЫ ИЛИ ГИДРАВЛИКА.

443. Давленіе воды. Высота давленія. Законъ давленія массы воды, находящейся въ спокойномъ состояніи, на поверхность, которой она касается, изложенъ въ § 107. При рѣшеніи вопросовъ Гидравлики, всегда удобно выражать единичную величину давленія воды въ *футахъ*, т. е. сравнивать ее съ давленіемъ столба, высотою въ 1 футъ на площадь величиною въ 1 квадратный футъ. Выраженное такимъ образомъ давленіе, называется *высотою давленія* (head of pressure) или просто *высотою*.

Въ § 106 величины давленія чистой воды при температурахъ 3°, 2 и 13°1/3 Р. даны въ сравненіи съ единицами вѣса; въ слѣдующей подобной-же сравнительной таблицѣ, но болѣе подробной, вѣсъ перегнанной воды принятъ въ 1.7286 пуда, что совершенно точно при температурѣ 3°, 2 Р. и приблизительно вѣрно для практическихъ приложеній при другихъ температурахъ.

Сравненіе высоты давленія воды съ давленіями, выраженными въ разныхъ единицахъ.

1 футъ воды при 3°, 2 Р. = 1.7286 пуда на квадрат. футъ.
= 0.012 пуда на квадрат. дюймъ.
= 0.0295 атмосферы.
= 0.8823 дюйма ртути.
= 773 фута воздуха при 0° и давленіи одной атмосферы.

1 метръ воды	=	5.67125 пуда на квадр. футъ.
	=	0.03939 пуда на квадр. дюймъ.
1 пудъ на квадратн. футъ	=	0.5785 фута воды.
1 пудъ на квадр. дюймъ	=	83.3092 фута воды.
1 килограмъ на квадрат. метръ	=	0.00328 фута воды.
	=	0.00567 пуда на квадр. футъ.
1 килограмъ на квадрат. сантиметръ	=	32.809 фута воды.
	=	0.3939 пуда на квадр. дюймъ.
1 атмосфера въ 29.922 дюйм. ртути	=	33.9 фута воды.
1 дюймъ ртути при 0^0	=	1.1334 фута воды.
1 футъ воздуха при 0^0 и давленіи одной атмосферы	=	0.001294 фута воды.
1 футъ морской воды среднимъ числомъ	=	1.026 фута прѣсной воды.

Полная высота давленія или *напора* (total head) данной частицы воды получается сложеніемъ слѣдующихъ величинъ:

1. *Высоты*, соотвѣтствующей претерпѣваемому ею давленію.

2. Дѣйствительнаго *возвышенія* частицы относительно постояннаго или даннаго уровня.

При опредѣленіи давленія или высоты давленія частицы воды принято не включать атмосфернаго давленія, такъ что абсолютное давленіе превосходитъ то, которое обыкновенно считаютъ, на одну атмосферу. При абсолютномъ давленіи въ одну атмосферу, высота давленія считается равною нулю; если-же оно менѣе атмосфернаго давленія нѣсколькими пудами или нѣсколькими футами, то говорятъ, что давленіе равно этому числу пудовъ на квадратный дюймъ или этому числу футъ *пустоты* (of vacuum).

Атмосферное давленіе въ уровнѣ моря, измѣняется между 33 и 35 футами воды и при подъемѣ вверхъ уменьшается по 1% на каждые 262 фута.

444. Расходъ воды и средняя скорость те-

ченія. Объемъ потока или расходъ воды въ рѣкѣ выражается въ единицахъ объема на единицу времени.

Наиболѣе удобная единица объема, есть *кубическій футъ;* но при вычисленіяхъ, относящихся до снабженія городовъ водою, можно употреблять *ведро.*

1 ведро = 0.434356 куб. фута, 1 куб. футъ = 2.30686 ведра.

Что касается до различныхъ единицъ времени, то *секунда* всего удобнѣе для механическихъ разсчетовъ, она-же употребляется при выраженіи расхода воды въ потокахъ. *Часъ, день* и болѣе длинные промежутки времени служатъ единицами при вычисленіяхъ, относящихся къ осушенію земель и къ водоснабженіямъ.

Средняя скорость потока опредѣляется раздѣленіемъ объема его или расхода воды на площадь поперечнаго сѣченія; скорость выражается въ футахъ на 1 секунду.

445. Наибольшая и наименьшая скорость. Такъ какъ движеніе жидкости по руслу замедляется треніемъ объ его бока и объ воздухъ, то скорость частицъ жидкости въ разныхъ точкахъ поперечнаго сѣченія потока различна: наибольшая бываетъ по срединѣ, наименьшая у дна и краевъ. Въ открытыхъ каналахъ и въ рѣкахъ отношеніе средней скорости къ наибольшей или центральной, опредѣляется приблизительно слѣдующею формулою Прони, въ футахъ на 1 секунду.

$$\frac{\text{Средн. скорость}}{\text{Наиб. скорость}} = \frac{\text{наиб. скорость} + 7.71.}{\text{наиб. скорость} + 10.28.}$$

Наименьшая скорость или скорость у краевъ русла почти на столько-же менѣе средней скорости, на сколько эта послѣдняя менѣе наибольшей.

Въ обыкновенныхъ случаяхъ можно принимать, что скорости, наименьшая, средняя и наибольшая, находятся въ отношеніи чиселъ 3 : 4 : 5; при весьма медленномъ теченіи отношеніе есть 2 : 3 : 4.

446. Законы правильнаго теченія. Правильнымъ или постояннымъ теченіемъ массы жидкости, въ отличіе отъ неправильнаго, называется тотъ родъ движенія, при которомъ скорость и направленіе движенія

каждой частицы зависятъ единственно отъ занимаемаго ею мѣста, а не отъ мѣста и времени вмѣстѣ, такъ что каждая изъ ряда частицъ, приходящихъ послѣдовательно въ данную точку, получаетъ извѣстную скорость и извѣстное направленіе, свойственныя этой точкѣ: таково движеніе *постояннаго потока*, отличающееся отъ измѣняющагося потока и отъ волны.

Для полученія какой-нибудь скорости, если частица воды въ покоѣ, или для увеличенія имѣющейся скорости, частица жидкости должна перейти съ мѣста большей полной высоты давленія къ мѣсту меньшей полной высоты. Это можетъ произойти при переходѣ отъ высшаго уровня къ низшему, отъ мѣста бо́льшаго давленія къ мѣсту мѐньшаго давленія или вслѣдствіе обѣихъ причинъ вмѣстѣ.

Потеря полной высоты, такимъ образомъ происходящая, связана съ произведенною скоростью по слѣдующимъ законамъ.

I. Если не принимать въ разсчетъ тренія, то потеря полной высоты, необходимая для даннаго увеличенія скорости, равняется высотѣ отвѣснаго паденія, соотвѣтствующей такому-же увеличенію скорости свободно падающаго тѣла; или другими словами: потеря полной высоты равна высотѣ, соотвѣтствующей ускоренію. Если частица начинаетъ двигаться изъ состоянія покоя, то эта высота называется соотвѣтствующею скорости и опредѣляется слѣдующею формулою, въ которой h есть высота въ футахъ, v скорость въ футахъ на 1 секунду.

$$h = v^2 : 64{,}4 = 0.01553\ v^2 \quad \ldots \quad (1)$$

II. Если движеніе жидкости замедляется треніемъ, то будетъ еще потеря высоты, имѣющая нѣкоторое отношеніе къ высотѣ, соотвѣтствующей скорости теченія; отношеніе это зависитъ отъ формы и размѣровъ русла и отверстій, сквозь которыя жидкость протекаетъ, а также и отъ другихъ обстоятельствъ.

Оба эти закона вмѣстѣ взятые, могутъ быть выражены формулою:

$$h = 0.01553\ v^2\ (1 + F) \quad \ldots \quad (2)$$

въ которой F есть множитель, опредѣляемый посредствомъ опытовъ и выражающій отношеніе, въ которомъ находится потеря высоты отъ тренія къ высотѣ, соотвѣтствующей скорости.

Обратная формула для опредѣленія скорости по данной потерѣ высоты есть

$$v = 8.025 \sqrt{h : (1 + F)} \ldots (3)$$

Скорость, опредѣляемая по данной высотѣ безъ принятія въ разсчетъ тренія, называется *теоретическою скоростью;* она есть $v = 8.025 \sqrt{h}$.

Въ открытомъ руслѣ вся потеря h полной высоты состоитъ въ уменьшеніи возвышенія надъ даннымъ уровнемъ и есть *дѣйствительное паденіе* (actual fall) верхней поверхности потока. Въ закрытой трубѣ потеря полной высоты можетъ состоять вся или частью въ уменьшеніи высоты, соотвѣтствующей давленію, и называется *гидравлическимъ паденіемъ* (virtual fall).

Чтобы выразить это знаками назовемъ:

z_1 возвышеніе надъ постояннымъ уровнемъ и p_1 высоту давленія у выхода трубы изъ водовмѣстилища. Такъ какъ скорость въ этой точкѣ незначительна, то можно сказать, что $z_1 + p_1$ есть полная высота въ спокойномъ состояніи

z возвышеніе надъ постояннымъ уровнемъ и p высоту давленія у той точки трубы, гдѣ потеря высоты, разсчитанная по формулѣ (2), есть h.

Полная высота въ этой точкѣ будетъ

$$z + p = z_1 + p_1 - h \ldots\ldots (4)$$

а высота давленія въ футахъ воды

$$p = z_1 + p_1 - z - h \ldots\ldots (5)$$

Это давленіе текущей воды, уменьшенное потерею высоты, называется *гидравлическимъ давленіемъ* или *напоромъ*, которое отличается отъ давленія спокойной жидкости, называемаго *гидростатическимъ давленіемъ*.

Въ открытомъ руслѣ уравненіе (5) упрощается тѣмъ, что у верхней поверхности потока, и у всякой ей парал-

лельной поверхности $h = z_1 - z_1$, такъ что $p = p_1$ въ двухъ точкахъ одинаково пониженныхъ подъ поверхностью потока.

Если вода имѣетъ нѣкоторую скорость у выхода изъ водовмѣстилища, то требующаяся потеря высоты уменьшается на высоту, соотвѣтствующую *скорости притока* (velocity of approach).

Пусть v_0 означаетъ эту скорость притока, тогда вмѣсто уравненія (2) надобно употребить слѣдующее

$$h = 0.01553 \quad (v^2 \ (1 + F) - v_0{}^2) \ . \ . \ (6)$$

Если v_0 имѣетъ извѣстное отношеніе r къ v т. е. $v_0 : v = r$, то уравненіе обращается въ

$$h = 0{,}01553 \ v^2 \ (1 + F - r^2) \ . \ . \ . \ (7)$$

Обратная формула для опредѣленія скорости по данной потерѣ высоты есть

$$v = 8.025 \ \sqrt{h : (1 + F - r^2)} \ . \ . \ . \ (8)$$

Если вода имѣетъ *равномѣрную скорость* въ руслѣ *однообразнаго сѣченія*, то скорости v_0 и v равны между собою въ двухъ разсматриваемыхъ поперечныхъ сѣченіяхъ и $r = 1$; въ этомъ случаѣ, вся потеря высоты между этими сѣченіями расходуется на треніе и уравненія (7 и 8), приводятся къ слѣдующимъ:

$$h = 0.01553 \ Fv^2 \ . \ . \ . \ . \ . \ (9)$$

$$v = 8.025 \ \sqrt{h : F} \ . \ . \ . \ . \ (10)$$

Въ прилагаемой таблицѣ помѣщены высоты въ футахъ, соотвѣтствующія скоростямъ въ футахъ-же на секунду, вычисленныя по формулѣ (1); таблица эта, совершенно точна для широты $54^0 \ 45^1$ и довольно вѣрна для практическаго употребленія подъ другими широтами.

Скорость.	Высота.	Скорость.	Высота.	Скорость.	Высота.	Скорость.	Высота.
1	0.015528	20	6.2111	39	23.618	64.4	64.400
2	0.062111	21	6.8477	40	24.844	66	67.639
3	0.13975	22	7.5153	41	26.102	68	71.800
4	0.24844	23	8.2141	42	27.391	70	76.086
5	0.38819	24	8.9439	43	28.711	72	80.496
6	0.55900	25	9.7048	44	30.062	74	85.029
7	0.76086	26	10.497	45	31.444	76	89.688
8	0.99377	27	11.320	46	32.857	78	94.471
9	1.2577	28	12.174	47	34.301	80	99.377
10	1.5528	29	13.059	48	35.776	80.5	100.625
11	1.8789	30	13.975	48.3	36.225	82	104.41
12	2.2360	31	14.922	49	37.282	84	109.56
13	2.6241	32	15.900	50	38.819	86	114 84
14	3.0434	32.2	16.100	52	41.987	88	120.25
15	3.4937	33	16.910	54	45.279	90	125.77
16	3.9751	34	17.950	56	48.695	92	131.43
16.1	4.0250	35	19.021	58	52.235	94	137.20
17	4.4875	36	20.124	60	55.900	96	143.10
89	5.0310	37	21.257	62	59 688	98	149.13
11	5.6055	38	22.422	64	63.601	100	155.28

Лучшая вспомогательная таблица для вычисленія высотъ по даннымъ скоростямъ или скоростей по даннымъ высотамъ, есть таблица квадратовъ и корней квадратныхъ (Пам. книжка для Инж. и Арх., стр. 12).

447. Треніе воды. Вотъ коефиціенты тренія воды, означенные буквою F въ формулахъ § 446, выведенные изъ опытовъ для чаще всего бывающихъ на практикѣ случаевъ.

I. *Треніе въ отверстіи,* сдѣланномъ въ тонкой стѣнкѣ

$$F = 0.054 \ldots . (1)$$

II. *Треніе у выхода трубы* изъ водовмѣстилища. Прямая труба, перпендикулярная къ стѣнкѣ

$$F = 0.505 \ldots . (2)$$

Такая-же труба, отклоняющаяся на уголъ Θ отъ перпендикуляра къ стѣнкѣ водовмѣстилища,

$$F = 0.505 + 0.303\ Sin\ \Theta + 0.226\ Sin^2\Theta \ldots (3)$$

Когда труба у выхода изъ водовмѣстилища имѣетъ форму *сжатой струи* или воронки, которой діаметръ равенъ $0.7854\ d$ на разстояніи $d : 2$ отъ выхода, гдѣ діаметръ есть d, то сопротивленіе такъ ничтожно, что F есть почти 0.

III. *Треніе у внезаннаго разширенія.* Пусть A_1 означаетъ площадь поперечнаго сѣченія русла, по которому протекаетъ Q кубическихъ футовъ воды въ секунду, и въ которомъ помѣщенъ щитъ, кранъ или другой предметъ, съуживающій сѣченіе до площади a; за этимъ съуженіемъ слѣдуетъ внезапное разширеніе русла до площади A_2. Пусть $v = Q : A_2$ есть скорость въ дальнѣйшей части русла. Дѣйствительная площадь въ сжатомъ мѣстѣ будетъ $c\,a$, гдѣ c есть коефиціентъ сжатія струи равный

$$0.618 : \sqrt{1 - 0.618\ \frac{a^2}{A_1^2}}$$

Пусть отношеніе, въ которомъ дѣйствительная площадь русла внезапно измѣняется, означено буквою r.

$$r = A_2 : c\,a = \frac{A_2}{a}\sqrt{\left(2.618 - 1.618\ \frac{a^2}{A_1^2}\right)} \ldots (4)$$

Тогда $r\,v$ есть скорость въ наиболѣе сжатомъ мѣстѣ. Изъ этого видно, что все напряженіе, соотвѣтствующее разности скоростей $r\,v$ и v расходуется на треніе и что слѣдовательно тутъ происходитъ потеря высоты, опредѣляемая формулою

$$0.01553\ v^2\ (r-1)^2 \ldots (5)$$

такъ что

$$F = (r-1)^2 \ldots . (6)$$

IV. *Треніе въ трубахъ и водопроводахъ.* Пусть A означаетъ площадь поперечнаго сѣченія русла, b *подводный*

периметръ или длину линіи обвода русла, омываемаго водою; l длину русла, такъ что lb представляетъ площадь трущейся поверхности. Назовемъ для краткости буквою m отношеніе $A : b$. Коефиціентъ тренія воды объ русло будетъ

$$F = f\frac{lb}{A} = \frac{fl}{m} \quad \ldots\ldots (7)$$

гдѣ предстоящее f имѣетъ слѣдующія величины:

для металическихъ трубъ $f = 0.0036 + \frac{0\ 0043}{\sqrt{v}}$ . . . . . (8).

для открытыхъ водопроводовъ $f = 0.00741 + \frac{0.000227}{v}$ .. (9)

Величина $m = A : b$ называется *среднею гидравлическою глубиною;* въ цилиндрическихъ и квадратныхъ трубахъ, по которымъ вода течетъ полнымъ сѣченіемъ, глубина эта равна четверти діаметра; ту-же величину имѣетъ она въ полуцилиндрическомъ открытомъ проводѣ, также въ открытомъ руслѣ котораго обводъ составляютъ линіи, касательныя къ полукругу, равному діаметромъ удвоенной наибольшей глубинѣ русла.

Въ открытомъ водопроводѣ потеря высоты

$$h = 0.01553\ \frac{fl}{m} v^2 \quad \ldots\ldots (10).$$

происходитъ въ видѣ дѣйствительнаго паденія поверхности воды, которая получаетъ уклонъ

$$i = \frac{h}{l} = 0.01553\ \frac{f}{m}\ v^2 \ldots\ldots\ldots (11).$$

По этимъ двумъ формуламъ опредѣляется паденіе и уклонъ открытаго русла, которымъ требуется провести воду. Въ закрытыхъ трубахъ потеря происходитъ въ полной высотѣ и отношеніе $i = h : l$ называется *гидравлическимъ уклономъ.*

V. *Въ колѣнахъ круглыхъ трубъ* пусть d діаметръ трубы, δ радіусъ кривизны ея оси въ колѣнѣ, Θ уголъ колѣна; по Вейсбаху

$$F = \frac{\theta}{\Pi} \left\{ 0.131 + 1.847 \left(\frac{d}{2\delta} \right)^{\frac{7}{2}} \right\} \ldots . (12).$$

VI. *Въ колѣнахъ прямоугольныхъ трубъ*

$$F = \frac{\theta}{\Pi_1} \left\{ 0.124 + 3.104 \left(\frac{d}{2\delta} \right)^{-\frac{7}{2}} \right\} \ldots . . (13).$$

VII. *Въ крутыхъ сгибахъ* подъ угломъ θ

$$F = 0.946 \sin.^2 \frac{\theta}{2} + 2.05 \sin.^4 \frac{\theta}{2} \ldots . . (14).$$

VIII. *Сумма потерь высоты.* Когда потокъ встрѣчаетъ сопротивленія разнаго рода, то происходящія отъ того потери складываются вмѣстѣ; и это правило прилагается къ случаямъ измѣненія скорости потока въ разныхъ частяхъ русла, слѣдующимъ образомъ:

Пусть v будетъ скорость у того поперечнаго сѣченія, у котораго требуется опредѣлить потерю высоты. Положимъ, что извѣстны отношенія къ этой скорости скоростей потока въ разныхъ мѣстахъ: r_0 v скорость притока (§ 446), r_1 v скорость въ первомъ отдѣленіи, r_2 v во второмъ и т. д.; пусть F_1 есть сумма коефиціентовъ сопротивленія въ первомъ отдѣленіи; F_2 во второмъ и т. д. Потеря высоты выразится формулою

$$h = 0.01553 \; v_2 \; (\; 1 - r_0{}^2 + F_1 \; r_1{}^2 + F_2 \; r_2{}^2 +).$$

которой можно дать видъ

$$h = 0.01553 \; v^2 \; (1 - r_0{}^2 + \Sigma F \; r^2) \ldots . . . . (15).$$

448. Сжатіе струи въ отверстіи. Коефиціенты расхода. На сжатіе струи воды, протекающей чрезъ отверстіе, было уже указано: оно происходитъ отъ сближенія частицъ воды передъ отверстіемъ, продолжающагося и за нимъ на нѣкоторомъ пространствѣ. Вслѣдствіе этого, дѣйствительная площадь струи въ отверстіи или площадь сжатой струи, по которой опредѣляется расходъ, менѣе площади отверстія въ нѣкоторомъ отношеніи, называемомъ *коефиціентомъ сжатія.*

Иногда невозможно отличить дѣйствіе тренія, уменьшающее скорость, отъ дѣйствія сжатія, уменьшающаго пло-

щадь сѣченія. Въ такихъ случаяхъ, отношеніе дѣйствительнаго расхода къ произведенію теоретической скорости (§ 446) на полную площадь отверстія называется *коефиціентомъ расхода*.

Числа, данныя въ этомъ параграфѣ и приложенной къ нему таблицѣ, суть иногда дѣйствительные коефиціенты сжатія, иногда коефиціенты расхода. Въ гидравлическихъ формулахъ, эти коефиціенты означаются буквою c.

Въ отверстіяхъ съ острыми ребрами тренія почти не существуетъ (§ 447 ст. I); при скругленныхъ ребрахъ или плоско срѣзанныхъ дѣйствіе тренія становится чувствительнымъ; а въ трубахъ или такихъ руслахъ, въ которыхъ вода направляется параллельно стѣнкамъ ихъ, не бываетъ вовсе сжатія струи, а уменьшеніе расхода все происходитъ отъ тренія.

Когда говорится объ отверстіи, что оно имѣетъ острыя ребра, то тутъ разумѣютъ внутреннюю или верховую сторону его и заостреніе предполагается произведеннымъ обточкою изнаружи; если-бы такую обточку произвести изнутри, то ребро отверстія было-бы скруглено или срѣзано плоско, давало-бы струѣ нѣкоторое направленіе и измѣнило-бы величину сжатія.

I. *Круглое отверстіе въ плоской стѣнкѣ съ острыми ребрами.*

$$c = 0.618 \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

II. *Прямоугольное отверстіе въ отвѣсной плоской стѣнкѣ съ острыми ребрами.* Тутъ коефиціентъ зависитъ частью отъ взаимнаго отношенія размѣровъ отверстія, частью отъ отношенія ширины отверстія къ высотѣ давленія. Коефиціентъ въ формулѣ относится къ кубическимъ футамъ на секунду, A есть площадь сѣченія въ квадратныхъ футахъ, h высота давленія или возвышеніе уровня жидкости надъ центромъ отверстія.

$$Q = 8.025\ c A \sqrt{h} \quad \ldots\ldots (2)$$

Въ слѣдующей таблицѣ даны величины c на основаніи опытовъ Понселе и Лебро надъ отверстіями шириною около 8 дюймовъ: онѣ не подчиняются никакому общему правилу.

Коефиціенты расхода сквозь прямоугольныя отверстія.

Отношеніе высоты напора къ ширинѣ отверстія.	Отношеніе высоты отверстія къ ширинѣ.					
	1	0.5	0.25	0.15	0.1	0.04
0.05	—	—	—	—	—	0.709
0.10	—	—	—	—	0.660	0.698
0.15	—	—	—	0.638	0.660	0.691
0.20	—	—	0.612	0.640	0 659	0.685
0.25	—	—	0.617	0.640	0.659	0.682
0.30	—	0.590	0.622	0.640	0.658	0.678
0.40	—	0.600	0.626	0.639	0.657	0.671
0.50	—	0.605	0.628	0.638	0.655	0.667
0.60	0.572	0.609	0 630	0.637	0.654	0.664
0.75	0.585	0.611	0.631	0.635	0.653	0.660
1.00	0.592	0.613	0.634	0.634	0.650	0.655
1.50	0.598	0.616	0.632	0.632	0.645	0.650
2.00	0.600	0.617	0.631	0.631	0.642	0.647
2.50	0.602	0.617	0.631	0.630	0.640	0.643
3.50	0.604	0.616	0.629	0.629	0.637	0.638
4.00	0.605	0.615	0.627	0.627	0.632	0.627
6.00	0.604	0.613	0.623	0.623	0.625	0.621
8.00	0.602	0.611	0.619	0.619	0.618	0.616
10.00	0.601	0.607	0.613	0.613	0.613	0.613
15.00	0.601	0.603	0.606	0.607	0.608	0.609

Таблица эта заключаетъ поправку, происходящую отъ измѣренія высоты уровня надъ центромъ отверстія, а не надъ точкою наибольшей скорости, которая нѣсколько выше центра; поправка эта совершенно ничтожна, когда возвышеніе уровня превосходитъ болѣе нежели въ три раза высоту отверстія.

III. *Прямоугольный водосливъ* (отверстіе возвышающееся до уровня воды) *съ острыми ребрами въ плоской отвѣсной стѣнѣ запруды.* Площадь отверстія берется до уровня воды въ прудѣ позади запруды; буква b означаетъ ширину водослива, B длину запруды; если b не менѣе одной четверти B то

$$c = 0.57 + b : 10\ B \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

IV. *Треугольный водосливъ* (формы V) *съ острыми ребрами въ отвѣсной стѣнѣ запруды* по опытамъ профессора Джемса Томсона. Площадь считается до уровня воды въ прудѣ.

Когда ширина водослива вдвое болѣе его глубины, тогда $c = 0.595$
Когда ширина водослива въ четверо болѣе глубины, тогда $c = 0.620$ . . . . (4)

V. *Частью сжатое отверстіе съ острыми ребрами.* Къ нѣкоторой части такого отверстія вода течетъ прямо, направленная по руслу потока, совпадающему съ ребромъ отверстія.

Пусть c означаетъ обыкновенный коефиціентъ, n часть ребра отверстія, совпадающая съ русломъ, c^1 измѣненный коефиціентъ.

$$c^1 = c + 0.09\,n \quad \ldots\ldots (5).$$

VI. *Плоскій или скругленный верхъ запруды;* площадь измѣряется до уровня воды въ прудѣ.

$$c = 0{,}5 \text{ почти.} \quad \ldots\ldots (6).$$

VII. *Водоспускъ въ прямоугольномъ руслѣ.*

отвѣсный $c = 0.7$.
наклоненный назадъ къ уровню подъ угломъ въ 60°; $c = 0.74$.
- въ 45° $c = 0.8$. . . . . (7).

VIII. *Неполное сжатіе*, см. § 447, ст. III.

449. Расходъ воды сквозь отвѣсныя отверстія, водосливы и водоспуски. Когда высота отверстія не превышаетъ половины или трети его пониженія подъ уровнемъ жидкости, тогда можно съ достаточной степенью приближенія разсчитать среднюю скорость и расходъ по высотѣ уровня воды надъ центромъ отверстія; такъ что расходъ выразится формулою

$$Q = 8.025\, c A \sqrt{h} \quad \ldots\ldots (1).$$

гдѣ A есть площадь отверстія, а c коефиціентъ сжатія.

Если-же высота отверстія превышаетъ половину высоты напора, и въ особенности если отверстіе доходитъ до уровня воды и образуетъ водосливъ, то недостаточно измѣрить высоту уровня воды надъ центромъ отверстія, а надобно площадь отверстія раздѣлить горизонтальными линіями на множество слоевъ, площадь каждаго слоя должно умножить на скорость, соотвѣтствующую положенію его подъ уровнемъ воды, взять сумму этихъ произведеній или интегралъ, которые умножить на приличный коефиціентъ сжатія.

Чтобы выразить это алгебрически, назовемъ b ширину, dh высоту одного изъ горизонтальныхъ слоевъ, такъ что bdh есть его площадь; h возвышеніе уровня воды надъ центромъ слоя; h_0 возвышеніе уровня надъ верхнимъ, и h^1 надъ нижнимъ краемъ отверстія; c коефиціентъ сжатія, Q расходъ въ кубическихъ футахъ на секунду; тогда

$$Q = 8{,}025\, c \int_{h_0}^{h_1} b\sqrt{h}.\, dh. \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Коефиціенты сжатія находятся въ § 448.

Вотъ самые важные случаи:

I. *Прямоугольное отверстіе*, b постоянное

$$Q = 8.025\, c \times \frac{2}{3} b\,(h_1^{3/2} - h_0^{3/2}) = 5.35\, cb\,(h_1^{3/2} - h_0^{3/2}) \quad (3)$$

На практикѣ рѣдко приходится употреблять эту формулу; потому что, коефиціенты таблицы Понселе и Лебро заключаютъ, какъ было уже сказано, поправку отъ ошибки, происходящей отъ измѣренія высоты уровня надъ центромъ отверстія, какъ въ уравненіи (1).

II. *Прямоугольной водосливъ при стоячей водѣ въ прудѣ*; b постоянно, $h_0 = 0$; h_1 высота водослива.

$$Q = 8.025\, c \times \frac{2}{3} b h_1^{3/2} = 5.35\, c b h_1^{3/2} = \left(3.03 + 0.535\, \frac{b}{B}\right) b h_1^{3/2} \quad (4)$$

Послѣдній видъ получила формула подстановкою вмѣсто c величины его данной уравненіемъ (3) § 448, гдѣ B есть вся длина запруды.

Величины c *и* 5.35 c

$\frac{b}{B}$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.25
c	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0 61	0.60	0.595
5.35 c	3.58	3 53	3.48	3.42	3.37	3.32	3.26	3.21	3.18

Кубъ квадратнаго корня высоты (h_1 $^3/_2$) легко отыскивается въ обыкновенной таблицѣ квадратовъ и кубовъ: въ столбцѣ квадратовъ ищите число ближайшее къ h_1, соотвѣтственное число таблицы кубовъ есть близкое къ искомому.

III. *Прямоугольный водосливъ, когда вода имѣетъ теченіе къ нему.* Когда нѣтъ стоячей воды, отъ уровня которой можно было-бы считать высоту h_1, то пусть v_0 означаетъ скорость въ той точкѣ, до уровня которой измѣрялась высота, или *скорость притока* воды къ водосливу.

Разсчитайте высоту, соотвѣтствующую этой скорости по формулѣ.

$$h_0 = v_0^2 : 64.4 = 0.015530\, v_0^2$$

теперь расходъ будетъ разностью расходовъ стоячаго пруда при высотѣ $h_1 + h_0$ и при высотѣ h_0 и выражается формулою.

$$Q = 5\ 35\ cb \left\{ (h_1 + h_0)^{3/2} - h_0^{3/2} \right\} . \quad . \quad (5)$$

Когда v_0 не можетъ быть измѣрено непосредственно, то ее надобно вычислить приблизительно, а именно по уравненію (4) найти приблизительную величину Q и раздѣлить этотъ расходъ на площадь русла въ томъ мѣстѣ, до уровня котораго измѣрялась высота надъ нижнимъ краемъ водослива.

IV. *Треугольный водосливъ при прудѣ съ стоячей водою*; h_1 считается отъ вершины треугольника до уровня воды. Пусть a означаетъ отношеніе полуширины водослива въ какой-нибудь точкѣ къ возвышенію этой точки надъ вершиною треугольника, такъ что ширина водослива у уровня воды есть $2\ a\ h_1$

$$Q = 8\ 025\, c \times \frac{8}{15}\, a h_1^{5/2} = 4.28\ c\ a\ h_1^{5/2} . \quad . \quad (6)$$

А если принять для c величины данныя въ § 448 (4), то будемъ имѣть

для $a = 1$; $Q = 2.54\ h_1^{5/2}$ . . . . . (6A)

для $a = 2$; $Q = 5\ 3\ \ h_1^{5/2}$ . . . . . (6B)

Когда нѣтъ таблицъ пятыхъ степеней чиселъ, то лучше всего вычислить расходъ посредствомъ логариѳмовъ.

V. *Затопленное отверстіе* есть такое, которое находится ниже уровня воды въ томъ пространствѣ, куда она притекаетъ, и того водовмѣстилища, изъ котораго она течетъ. Въ этомъ случаѣ, расходъ должно разсчитывать по разности уровней этихъ вмѣстилищъ.

VI. *Затопленный прямоугольный водосливъ.* Пусть h_1 и h_2 означаютъ высоты стоячей воды надъ нижнимъ краемъ водослива съ верхней и нижней стороны дна водослива; расходъ воды въ кубическихъ футахъ на секунду выражается формулою

$$Q = 5.35\ c\ h\ (h_1 + \tfrac{h_2}{2})\ \sqrt{(h_1 - h_2)} \quad . \quad . \quad (7)$$

VII. *Для запрудъ съ широкимъ плоскимъ порогомъ,* затопленныхъ или нѣтъ, формулы тѣ-же что для прямоугольныхъ водосливовъ, съ тою только разницею, что коефиціентъ c есть около 0,5, какъ было сказано.

VIII. *Вычисленіе размѣровъ отверстій.* Всѣ предъидущія формулы, кромѣ 5 и 7 могутъ быть употреблены въ обратномъ смыслѣ для опредѣленія размѣровъ отверстій, пропускающихъ данное количество воды въ секунду.

Напримѣръ, въ случаѣ приложимости уравненія (1), площадь отверстія есть

$$A = Q : 8.025\ c\ \sqrt{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Когда надобно употребить уравненіе (3), то ширина отверстія получаемая изъ него есть

$$b = Q : 5.35\ c \left(h^{1\ 3/2} - h_0^{\ 3/2} \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Въ приложеніи уравненія (4), глубина дна водослива подъ уровнемъ стоящей воды дается формулою

$$h_1 = \left| Q : 5.35\, c\, b \right|^{2/3} \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

А изъ уравненія (6), имѣемъ

$$h_1 = \left| Q : 4.28\, c\, a \right|^{2/5} \quad \ldots\ldots \quad (11)$$

IX. *Водоспуски* дѣйствуютъ какъ прямоугольныя отверстія, затопленныя или нѣтъ, смотря по обстоятельствамъ; величина c берется по правиламъ § 448.

450. Вычисленіе расхода воды въ трубахъ и ихъ діаметра. Потеря высоты давленія струи, текущей со скоростью v по трубѣ, длиною l, съ однообразнымъ діаметромъ d, дается слѣдующею формулою, выводимою изъ уравненій 8 и 10 § 447, подставкою $d : 4$ вмѣсто средней гидравлической глубины m.

$$h = \frac{4fl}{d} \cdot \frac{v^2}{64.4} = 0.01553 \left(0.0144 + \frac{0.0172}{\sqrt{v}}\right) \frac{l}{d} \cdot v^2 \quad (1)$$

Это уравненіе служитъ для рѣшенія слѣдующихъ задачъ:

I. *Вычислить расходъ воды въ трубѣ* по даннымъ h, l и d въ футахъ.

Примите для $4f$ какое-нибудь приблизительное значеніе, обыкновенно берутъ 0.0258. Первая приблизительная величина скорости будетъ:

$$v' = 8.025 \sqrt{\frac{hd}{0.0258l}} = 50 \sqrt{\frac{hd}{l}} \quad \ldots \quad (2)$$

или *средняя пропорціональная между діаметромъ и потерею высоты на 2,500 футахъ длины*. По этой скорости опредѣлите новое значеніе $4f$, по которому вычисляется вторая приблизительная величина скорости посредствомъ формулы

$$v' = 8.025 \sqrt{\frac{hd}{4fl}} \quad \ldots \quad (3)$$

и этого довольно почти во всѣхъ случаяхъ, встрѣчающихся на практикѣ.

Расходъ есть

$$Q = 0.7854 . v d^2 \quad . . . . . \quad (4)$$

Первая приблизительная величина его дается формулою

$$Q' = 0.7854\, v'\, d^2 = 39 . 27 \sqrt{\frac{hd}{l}}\; d^2 \; . . \quad (4\ \text{A})$$

II. *Найти діаметръ* d *трубы, по которой протекало-бы* Q *кубическихъ футъ воды въ секунду при потерѣ высоты* h *на каждые* 1 *футъ длины.*

Если предположить извѣстнымъ $4f$, то

$$d = \left(\frac{4\, f\, l\, Q^2}{39 . 27\, h}\right)^{1/5} \quad . . . . . \quad (5)$$

Но $4f$ зависитъ отъ скорости, которая сама зависитъ отъ величины искомаго діаметра.

Сдѣлайте первое предположеніе $4f = 0.0258$, получите первую приблизительную величину для діаметра

$$d' = 0.23 \left(\frac{lQ^2}{h}\right)^{1/5} \quad . . . . . \quad (6)$$

и первую приблизительную величину скорости

$$v' = Q : 0.7854\, d'^2 \quad . . . . . \quad (7)$$

По этимъ даннымъ, при помощи уравненія (1) этого параграфа, найдите приблизительную величину потери высоты h'. Если она выйдетъ согласна съ данною потерею h, или очень къ ней близка, то можно довольствоваться первою приблизительною величиною діаметра; если нѣтъ, то исправленный діаметръ получается по формулѣ

$$d = d' \left(\frac{h'}{h}\right)^{1/5} = d' \left(\frac{4}{5} + \frac{h'}{5h}\right) \quad . . . . \quad (8)$$

Всѣ эти формулы употребляются въ тѣхъ случаяхъ, когда труба не имѣетъ криволинейныхъ частей или крутыхъ колѣнъ, производящихъ значительное сопротивленіе.

Если-же въ трубѣ находятся подобныя препятствія для движенія, то ихъ можно принять въ разсчетъ слѣдую-

щимъ образомъ: имѣя сначала діаметръ прямой трубы, разочтите по формулѣ § 447 дополнительную потерю высоты отъ этихъ препятствій; пусть h'' есть эта потеря. Поправка діаметра трубы производится увеличеніемъ его въ отношеніи

$$1 + \frac{h''}{5h} : 1 \quad \ldots\ldots \quad (9)$$

Подобнымъ-же образомъ можно сдѣлать прибавку на потерю высоты при входѣ воды изъ вмѣстилища въ трубу, а именно потеря есть

$$0.01553\ (1 + F)\ v^2.$$

гдѣ F коефиціентъ тренія у входа въ трубу.

Теоретическій діаметръ трубы надобно на дѣлѣ нѣсколько увеличить на случай засореній или осадковъ. По мнѣнію нѣкоторыхъ авторитетовъ, это увеличеніе должно быть на одну шестую долю діаметра, но кажется по сдѣланнымъ наблюденіямъ что инкрустаціи имѣютъ одинаковую толщину въ трубахъ всякаго діаметра, если онѣ были одинаковое время подвержены дѣйствію одной и той-же воды, по этому было-бы правильнѣе увеличивать діаметръ всѣхъ трубъ одной системы на одинаковое количество. Въ обыкновенныхъ случаяхъ можно сдѣлать увеличеніе на 1 дюймъ.

451. Расходъ воды въ каналахъ и ихъ размѣры Величина уклона поверхности потока въ однообразномъ каналѣ или въ рѣкѣ опредѣляется раздѣленіемъ потери высоты или дѣйствительнаго паденія h на длину канала l и выражается слѣдующею формулою выводимою изъ уравненія (11) § 447; въ ней m есть средняя гидравлическая глубина.

$$i = \frac{h}{l} = 0.01553\,\frac{f}{m} = v^2\,0.01553\left(0.00741 + \frac{0.000227}{v}\right)\frac{v^2}{m} \quad (1)$$

Это уравненіе можетъ служить для рѣшенія слѣдующихъ задачъ.

I. *Опредѣлить расходъ воды въ потокѣ* по даннымъ i, m и A. Первый пріемъ долженъ состоять въ опредѣленіи скорости, что можетъ быть сдѣлано рѣшеніемъ квадрат-

наго уравненія; но гораздо скорѣе найти величину скорости посредствомъ послѣдовательныхъ приближеній. Примите для коефиціента тренія f приблизительную величину, напримѣръ $f^1 = 0.007565$.

Первая приблизительная величина скорости будетъ

$$v^1 = 8.025 \sqrt{\frac{im}{0.007565}} = \sqrt{8512\ im} = 92.26 \sqrt{im} \ldots (2)$$

или *средняя пропорціональная между средней гидравлической глубиною и паденіемъ на протяженіи 8512 футовъ.* Первая приближенная величина расхода есть

$$Q_1 = v_1\ A \ldots\ldots (3)$$

Часто случается, что можно довольствоваться этими приблизительными величинами.

Чтобы найти второе приближеніе нужно вычислить f, которое равно заключенному въ скобкахъ множителю уравненія (1); если оно окажется близко подходящимъ къ предположенной величинѣ f^1, то можно не продолжать работы. Но когда есть значительная разница, то надобно умножить скорость и расходъ на

$$\frac{3}{2} - \frac{}{0.01513} \ldots (4)$$

II. *Опредѣлить размѣры однообразнаго русла, по которому протекаетъ Q кубическихъ футъ воды въ секунду при уклонѣ i.* Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, надобно сначала задаться формою русла для того, чтобы отношенія его размѣровъ между собою и къ средней гидравлической глубинѣ m были извѣстны; тогда извѣстно будетъ и отношеніе $A : m^2$ площади поперечнаго сѣченія къ квадрату средней гидравлической глубины, назовемъ это отношеніе буквою n.

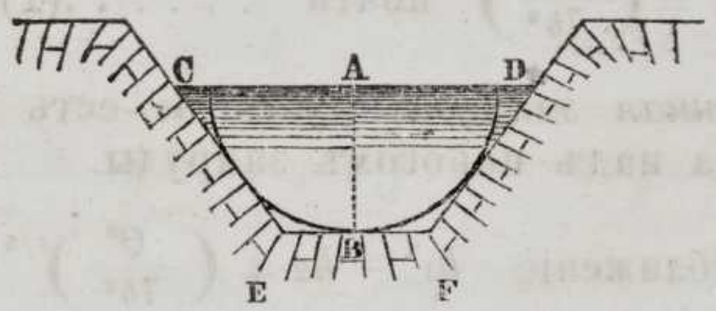
Вотъ величины n для нѣкоторыхъ формъ поперечнаго сѣченія:

для полукруга $n = 6.2832$.
для полуквадрата $n = 8$.
для полушестиугольника $n = 4\sqrt{3} = 6.928$.

Для формы, предложенной г. Невилемъ и состоящей изъ

трехъ прямыхъ касательныхъ къ полукругу, котораго центръ у поверхности воды, средняя касательная, или дно, горизонтальна и боковыя касательныя наклонены подъ угломъ θ.

$$n = 4\left(\text{Cosec}\,\theta + \text{tang}\frac{\theta}{2}\right)$$



Черт. 287.

Во всѣхъ этихъ фигурахъ m есть половина наибольшей глубины.

Найдите первую приблизительную величину средней гидравлической глубины по формулѣ

$$m' = \left(\frac{Q^2}{8512\, n^2\, i}\right)^{\frac{1}{5}} \ldots\ldots (5).$$

и приближенную величину скорости

$$v' = \frac{Q}{nm^2} \ldots\ldots (6).$$

По этимъ даннымъ и при помощи уравненія (1) найдется приближенная величина уклона i_1. Если она близко подходитъ къ данной i, то можно остановиться на вычисленныхъ величинахъ глубины и скорости; если нѣтъ, то исправленная гидравлическая глубина получается по формулѣ

$$m = m_1\left(\frac{4}{5} + \frac{i_1}{5\,i}\right) \ldots\ldots (7).$$

По найденной глубинѣ можно опредѣлить всѣ размѣры русла.

452. Подпоръ, производимый запрудою. Когда поперегъ рѣки построена плотина или запруда, то слѣдующая формула служитъ для опредѣленія высоты h_1 въ футахъ, на которую поднимется уровень воды въ плесѣ

передъ запрудою надъ ея порогомъ; Q здѣсь означаетъ расходъ воды, а b длину запруды въ футахъ.

I. *Незатопленная запруда* съ плоскимъ и нѣсколько скругленнымъ порогомъ

$$h_1 = \left(\frac{Q^2}{7b^2}\right)^{1/3} \text{почти} \quad \ldots\ldots (1).$$

II. *Затопленная запруда*; пусть h_2 есть высота воды нижняго пруда надъ порогомъ запруды.

Первое приближеніе $h_1' = h_2 + \left(\frac{Q^2}{7b^2}\right)^{1/3} \ldots\ldots (2).$

Второе приближеніе $h_1'' = h_1' - h_2 \left(1 - {}^5/_4 \frac{h_2}{h_1' - h_2}\right) \ldots (3).$

Дальнѣйшія приближенія получаются повтореніемъ послѣдняго дѣйствія.

453. Подпорнымъ уклономъ (backwater) называютъ тотъ, который поверхность воды принимаетъ въ руслѣ, прегражденномъ запрудою, выше этой запруды.

Въ руслѣ однообразнаго сѣченія и уклона форма, принимаемая поверхностью воды въ верхней его части вслѣдствіе возвышенія уровня у запруды, можетъ быть опредѣлена по приближенію слѣдующимъ способомъ:

Пусть i означаетъ уклонъ дна русла и слѣдовательно уклонъ поверхности воды до устроенія запруды.

Пусть δ_0 означаетъ глубину воды въ руслѣ до устройства запруды.

Пусть δ_1 есть глубина воды у запруды, δ_2 глубина въ какой нибудь точкѣ выше запруды послѣ ея устройства.

Требуется найти разстояніе x отъ запруды до мѣста гдѣ вода имѣетъ глубину δ_2.

Означьте отношеніе, въ которомъ измѣнилась глубина въ какой-нибудь точкѣ русла, буквою r, $r = \delta : \delta_0$ и буквою ϕ слѣдующую функцію этого отношенія:

$$\phi = \int \frac{dr}{r^3 - 1} = {}^1/_6 \text{ hyp. log} \left\{ 1 + \frac{3r}{(r-1)^2} \right\} + \frac{1}{\sqrt{3}} \text{arctg} \frac{2r+1}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Разложеніе въ рядъ этого выраженія даетъ формулу для опредѣленія ϕ, по приближенію

$$\phi \text{ почти} = \frac{1}{2r^2} + \frac{1}{5r^5} + \frac{1}{8r^8} \ldots\ldots (1\ A)$$

Вычислите величины ϕ_1 и ϕ_2 соотвѣтствующія отношеніямъ

$$r_1 = \delta_1 : \delta_0 \text{ и } r_2 = \delta_2 : \delta_0.$$

$$\text{Тогда } x = \frac{\delta_1 - \delta_2}{i} + \left(\frac{1}{i} - 264\right)\left(\phi_1 - \phi_2\right)\delta_0 \ldots\ldots (2).$$

Вотъ таблица дающая ϕ для нѣкоторыхъ величинъ r.

$r =$	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
$\phi =$	∞	0.680	0.480	0.376	0.304	0 255	0.218	0.189	0.166
$r =$	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0		
$\phi =$	0.147	0.132	0.107	0.089	0 076	0.065	0.056.		

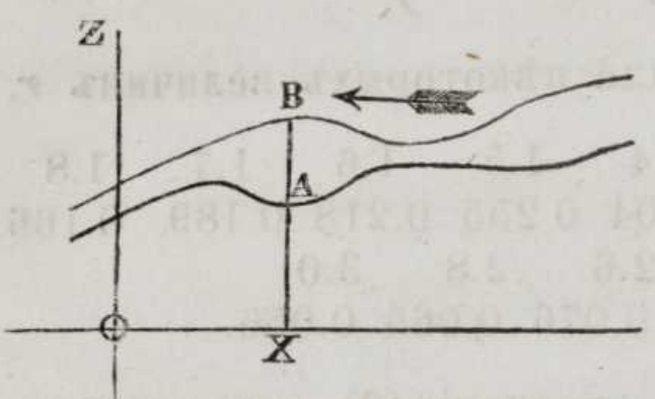
Первый членъ второй части уравненія (2), есть разстояніе отъ запруды до того мѣста, гдѣ глубина была-бы δ_2, если-бы поверхность воды была горизонтальна.

Второй членъ есть дополненіе, происходящее отъ наклона поверхности воды къ запрудѣ. Число 264, есть приблизительная величина отношенія $2 : f$, гдѣ f коэфиціентъ тренія. При естественномъ уклонѣ въ одну 264-ю, второй членъ исчезаетъ. При болѣе крутомъ уклонѣ дна, этотъ членъ становится отрицательнымъ и это показываетъ, что поверхность воды съ приближеніемъ къ запрудѣ поднимается. Хотя такое возвышеніе имѣетъ въ самомъ дѣлѣ мѣсто, но нельзя надѣяться на согласіе дѣйствительной его величины съ вычисленною по формулѣ, потому что она основана на предположеніяхъ менѣе вѣрныхъ при крутыхъ, нежели при умѣренныхъ уклонахъ. Поэтому, когда уклонъ дна превосходитъ одну 264-ю, лучше вычислить разстояніе подпорнаго горизонта по первому члену второй части уравненія (2).

454. Потокъ въ неправильномъ руслѣ. Предъидущія правила для опредѣленія формы и пространства подпора составляютъ рѣшеніе частнаго случая общаго вопроса: *Дана форма русла потока, расходъ Q и уровень воды въ*

одномъ поперечномъ сѣченіи; опредѣлить форму, принимаемую поверхностью воды выше этого сѣченія.

Потеря высоты между двумя поперечными сѣченіями есть сумма потерь, издерживаемыхъ на преодоленіе тренія и на увеличеніе скорости, если она возрастаетъ, или разность этихъ потерь, если скорость уменьшается и эта разность можетъ быть положительная или отрицательная, то есть, тутъ можетъ быть потеря или прибыль высоты. Въ тѣхъ частяхъ потока, гдѣ эта разность становится отрицательною, уклонъ поверхности воды бываетъ въ противную сторону. На черт. 288, OZ есть плоскость; поперечнаго сѣченія, въ которомъ уровень воды данъ; пусть горизонтальное разстояніе $x = OX$ измѣряется въ сторону, противную теченію, а возвышенія поверхности воды надъ данною плоскостью OX измѣряются вверхъ,



Черт. 288.

какъ напримѣръ $XB = z$. Разсмотримъ безконечно малую часть потока dx, при гидравлической глубинѣ m и площади сѣченія A. Паденіе этой части потока есть dz, а ускореніе $-dv$ потому что v считается въ сторону противную x.

$$\text{Тогда } dz = -0.03106\ vdv + 0.01553\ f\frac{v^2}{m}dx \quad . \quad (1).$$

Въ приложеніи этого диференціальнаго уравненія къ какому-либо частному случаю, вмѣсто v надобно поставить отношеніе $Q : A$, а вмѣсто A и m ихъ величины выраженныя въ функціи x и z. Тогда получится диффференціальное уравненіе содержащее x и z и постоянное количество Q; по интегрированіи этого уравненія получится отношеніе между x и z, координатами поверхности потока.

455. Время опоражниванія водовмѣстилища опредѣлится, когда предположите его раздѣленнымъ на тонкіе горизонтальные слои, находящіеся на разныхъ высотахъ надъ выпускнымъ отверстіемъ, вычислите ско-

рость вытеканія для каждаго слоя, и по этому время вытеканія; полученныя времена надобно сложить или взять ихъ интегралъ.

Пусть s означаетъ площадь вмѣстилища, dh толщину какого-нибудь слоя, A дѣйствительную площадь выпускнаго отверстія, h высоту надъ нимъ разсматриваемаго слоя; скорость вытеканія будетъ для этого слоя $c\sqrt{h}$, гдѣ c есть коефиціентъ взятый по правиламъ §§ 449, 450 или 451.

Время истеченія этого слоя есть

$$dt = \frac{sdh}{Ac\sqrt{h}} \quad \ldots\ldots\ldots (1).$$

А если h_1 есть возвышеніе поверхности воды во вмѣстилищѣ надъ отверстіемъ, то все время

$$t = \frac{1}{Ac}\int_0^{h'} \frac{s\,d\,h}{\sqrt{h}} \quad \ldots \quad (2)$$

Одинъ изъ самыхъ удобныхъ способовъ для выраженія этого вывода состоитъ въ опредѣленіи отношенія этого времени ко времени, нужному для выпуска изъ вмѣстилища количества воды равнаго его объему въ томъ предположеніи, что уровень постояненъ. Объемъ этотъ есть $\int_0^{h_1} sdh$, а время $T = \int_0^{h_1} sdh : Ac\sqrt{h_1}$; искомое отношеніе есть слѣдовательно

$$\frac{t}{T} = \sqrt{h_1}\int_0^{h_1} \frac{s\,d\,h}{\sqrt{h}} : \int_0^{h_1} sdh. \quad \ldots \quad (3)$$

Для вмѣстилища съ отвѣсными стѣнами, s постоянно и . . . . . $t : T = 2$.

Для вмѣстилища, имѣющаго форму клина, s пропорціонально высотѣ h и. . . . . $t : T = 1\,1/2$.

Для пирамидальнаго вмѣстилища, когда выпускное отверстіе находится въ вершинѣ пирамиды, s пропорціонально квадрату высоты h^2 и $t : T = 1\,1/6$.

Раздѣленіе водовмѣстилища на слои облегчается составленіемъ его плана съ горизонталями.

Чтобы узнать время, нужное на истеченіе части воды изъ вмѣстилища можно опредѣлить сначала время, нуж-

ное на полное его опоражниваніе, а потомъ время нужное на истеченіе той части воды, которая должна въ немъ остаться; разность этихъ временъ, есть искомое время.

Время сравненія уровней воды въ двухъ вмѣстилищахъ съ отвѣсными стѣнами, имѣющихъ между собою подводное сообщеніе, какъ напримѣръ двухъ шлюзныхъ дворовъ, есть то-же, какое нужно для того, чтобы опорожнился сосудъ съ такими-же стѣнами, вмѣщающій такой-же объемъ воды, какой переходитъ изъ одного пространства въ другое, и имѣющій высоту равную наибольшей разности уровней двухъ вмѣстилищъ.

ОТДѢЛЪ II. ИЗМѢРЕНІЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ.

456. Источники воды. Дождь. Полное и полезное количество воды. Дождь есть единственный источникъ всѣхъ водъ на поверхности земли. Та дождевая вода, которая не испарилась или не поглощена растеніями, стекаетъ по поверхности земли и по скважинамъ почвы къ ручьямъ и рѣкамъ, или спускается глубже въ землю сквозь проницаемые пласты земной коры или сквозь трещины непроницаемыхъ пластовъ и потомъ выходитъ снова на поверхность земли въ ея впадинахъ въ видѣ ключей или извлекается изъ нѣдръ земли посредствомъ колодцевъ.

Какимъ-бы образомъ ни получалась вода и на какоебы употребленіе она ни шла, на орошеніе земель, на движеніе машинъ, питаніе каналовъ, снабженіе водою населенныхъ мѣстъ, также и тогда когда нужно отъ нея избавиться посредствомъ дренажа, измѣреніе количества выпадающаго дождя есть предметъ первой важности. Для опредѣленія этого количества необходимо знать площадь бассейна и толщину слоя воды, выпадающаго въ данное время.

I. *Бассейнъ* составляетъ пространство земли, окруженное непрерывною линіею хребта или водораздѣла со всѣхъ сторонъ, за исключеніемъ того мѣста, гдѣ воды бассейна имѣютъ исходъ. Это пространство можетъ быть раздѣлено и иногда въ самомъ дѣлѣ дѣлится побочными

хребтами на нѣсколькихъ меньшихъ бассейновъ, имѣющихъ каждый свой водотокъ, доставляющій его воды къ главному водотоку бассейна. Для измѣренія площади бассейна нужно имѣть планъ мѣстности съ указаніемъ ея хребтовъ или съ данностями для ихъ опредѣленія, таковы высоты отдѣльныхъ точекъ или горизонтали (§§ 58 и 59).

Если бассейнъ довольно обширенъ, то надобно измѣрить отдѣльно каждый изъ составляющихъ его малыхъ бассейновъ, потому что толщина слоя дождевой воды можетъ быть въ каждомъ изъ нихъ своя; иногда бываетъ даже нужно каждый малый бассейнъ еще раздѣлить на части, находящіяся на разныхъ разстояніяхъ отъ горныхъ хребтовъ, гдѣ образуются дождевыя облака.

Въ одномъ только случаѣ линія хребта не есть граница бассейна, а именно, когда вода проникаетъ въ грунтъ и опускается до непроницаемаго водою пласта земли, отъ формы котораго будетъ тогда зависѣть обширность бассейна и границею его будетъ уже не хребетъ земной поверхности, а высшая линія непроницаемаго пласта. Для опредѣленія площади бассейна въ этомъ случаѣ надобно имѣть геологическія карты и прорѣзы мѣстности.

II. *Толщина слоя дождя*, выпадающаго въ продолженіи даннаго времени измѣняется въ значительныхъ предѣлахъ для разныхъ временъ года, для разныхъ годовъ и въ разныхъ мѣстахъ. Крайніе предѣлы толщины слоя падающей воды въ теченіи года на поверхность земнаго шара суть 0 и 150 дюймовъ.

Во всякой странѣ наибольшее количество воды выпадаетъ въ мѣстностяхъ, открытыхъ дѣйствію господствующихъ вѣтровъ, таковы западные берега Европы; у горныхъ хребтовъ бываетъ противное, тамъ наибольшее количество воды падаетъ на склонъ, защищенный отъ господствующаго вѣтра; это вѣроятно потому, что водяные пары навѣтреннаго склона, поднявшись въ воздухъ и сгустившись тамъ переносятся вѣтромъ въ видѣ облаковъ на подвѣтренную сторону, гдѣ и падаютъ опять на землю въ видѣ дождя. Той-же причинѣ надобно приписать

и большее обиліе дождя въ странахъ гористыхъ, нежели въ низменныхъ.

Количество выпадающаго дождя кажется независимо отъ возвышенія мѣстности надъ уровнемъ моря, если только высота не есть предгоріе.

Изъ множества данныхъ, собранныхъ въ разныхъ мѣстахъ объ количествѣ выпадающаго снѣга и дождя, нельзя было вывести еще теоріи, по которой можно было-бы опредѣлить это количество въ данной мѣстности безъ непосредственныхъ наблюденій. Важнѣйшія данныя, которыя должны быть опредѣлены этими наблюденіями, суть:

1. Наименьшее количество воды, выпадающее въ годъ.
2. Среднее годовое количество воды.
3. Наибольшее количество воды въ годъ.
4. Распредѣленіе воды по временамъ года и самый длинный періодъ засухи.
5. Наибольшій проливной дождь или наибольшее количество воды, которое можетъ выпасть въ теченіи короткаго времени.

Степень важности выводовъ зависитъ отъ цѣли, для которой они будутъ употреблены, такъ при вопросѣ объ снабженіи водою важно знать наименьшее годовое количество падающей воды и длиннѣйшій періодъ бездождія; при учрежденіи дренажа наибольшее годовое количество воды и самый сильный ливень.

Опытъ показываетъ, что для полученія полныхъ и точныхъ данныхъ наблюденія должны дѣлаться по-крайней-мѣрѣ двадцать лѣтъ сряду, если не больше; но рѣдко случается, чтобы столь продолжительныя наблюденія были уже дѣланы въ той именно мѣстности, гдѣ это можетъ быть нужно инженеру и тогда надобно поступить слѣдующимъ образомъ:

1. Должно добыть наблюденія, производившіяся въ теченіи многихъ лѣтъ на какомъ-либо пунктѣ, близкомъ къ той мѣстности, гдѣ подобныя наблюденія были-бы нужны. Изъ этихъ наблюденій опредѣлить наибольшее, наименьшее и среднее годовое количество воды, количество воды доставляемое сильнѣйшимъ ливнемъ и наибольшій періодъ засухи. Пунктъ этотъ можно назвать *основнымъ*.

2. На изслѣдуемомъ пространствѣ земли должно установить дождемѣры въ мѣстахъ, которыя можно назвать *дождевыми станціями* и поручить наблюденія надъ ними людямъ благонадежнымъ. Такія наблюденія должны производиться довольно долгое время и сравниваться съ наблюденіями, производимыми въ тоже время на основномъ пунктѣ.

3. Изъ сравненія полученныхъ по наблюденіямъ цифръ опредѣлятся отношенія количествъ падающаго дождя на основномъ пунктѣ и на дождевыхъ станціяхъ: на эти отношенія надобно умножить наибольшую, наименьшую и среднюю толщину слоя воды, выпадающей въ годъ въ основномъ пунктѣ, чтобы получить вѣроятныя количества дождя въ дождевыхъ станціяхъ; на эти-же отношенія умножается и наибольшій ливень.

Выборъ мѣстъ для дождевыхъ станцій много зависитъ отъ практической возможности дѣлать въ нихъ ежедневныя наблюденія; онѣ должны быть равномѣрно распредѣлены по всему пространству изслѣдуемаго бассейна. Если онъ состоитъ изъ нѣсколькихъ второстепенныхъ бассейновъ, то въ каждомъ изъ нихъ должно поставить по одному или по нѣскольку дождемѣровъ; если мѣстность окружена или перерѣзана высокими холмами, то дождемѣры ставятся иные на вершинахъ холмовъ, другіе въ низменныхъ мѣстахъ и въ разныхъ разстояніяхъ отъ холмовъ.

Каждый дождемѣръ долженъ стоять на открытомъ мѣстѣ и не заграждаться какими-нибудь предметами, напримѣръ: стѣнами, заборами или деревьями; отверстіе его должно быть мало возвышено надъ поверхностью земли, для защиты отъ скота его можно окружать деревянною или проволочною рѣшеткою.

Употребляемый въ полѣ дождемѣръ состоитъ изъ конической воронки съ отвѣснымъ цилиндрическимъ краемъ, тщательно обточеннымъ по данному діаметру 10 или 12 дюймовъ и изъ сосуда, въ которомъ собирается вода: этотъ сосудъ бываетъ цилиндрической формы, меньшаго діаметра нежели отверстіе воронки. Если въ этомъ сосудѣ производится измѣреніе объема, то отношеніе его діаметра къ діаметру воронки должно быть въ точности из-

вѣстно; высота, на которой въ немъ стоитъ вода, видна по стержню при поплавкѣ, опущенномъ въ сосудъ: на стержнѣ могутъ быть дѣленія въ обыкновенныхъ дюймахъ и тогда по извѣстной площади сосуда узнается кубическое содержаніе воды, которое надобно раздѣлить на площадь отверстія воронки и тогда получится высота выпавшаго слоя воды; иногда-же на стержнѣ означаютъ прямо дюймы воды по отношенію площадей сосуда и отверстія воронки.

Иногда количество выпавшаго дождя измѣряется перелитіемъ воды изъ сосуда, въ которомъ она собрана, въ цилиндрическую трубку, имѣющуюся у наблюдателя. Эта трубка стекляная со дномъ и на стѣнкѣ ея назначены дѣленія: самый точный способъ назначенія дѣленій состоитъ въ томъ, что въ трубку наливаютъ извѣстное по вѣсу количество воды, при чемъ можно принимать, что 25 кубическихъ дюймовъ ея, вѣсятъ 1 фунтъ. Способъ этотъ указанъ Гасколемъ въ его Engineering Field Book.

Изъ дѣланныхъ до сихъ поръ наблюденій можно заключить, что отношеніе наименьшаго, средняго и наибольшаго количества воды, выпадающаго въ годъ во всякомъ мѣстѣ заключается между отношеніями чиселъ 2: 3: 4 и 4: 5 : 6.

III. *Полезное количество* выпадающей воды есть та часть полнаго ея количества, которая можетъ быть собрана въ резервуарѣ или которая стекаетъ по поверхности земли въ рѣки; остальное теряется испареніями, поглощается растеніями и почвою.

Отношеніе между полезнымъ и полнымъ количествомъ воды измѣняется въ значительныхъ предѣлахъ, потому что очень много обстоятельствъ имѣютъ на него вліяніе: быстрота выпаденія воды, плотность грунта, уклонъ поверхности земли, количество и родъ растеній, температура воздуха, существованіе дренажа и т. п,

Грунтъ.	Отношеніе полезнаго количества воды къ полному.
Гранитъ, гнейсъ, шиферъ при крутомъ уклонѣ	1
Болотистое и холмистое пастбище.	0,6 — 0,8

Плоская, обработанная мѣстность .	0,4 — 0,5
Мѣлъ.	0

Глубокіе колодцы и ключи даютъ отъ 0.3 до 0.4 всего количества падающей воды.

Самое вѣрное средство опредѣлить полезное количество падающей на бассейнъ воды состоитъ въ опредѣленіи расхода воды главнаго его водотока современно наблюденіямъ надъ выпаденіемъ воды; тогда получится вѣрное отношеніе между полезнымъ и полнымъ количествомъ воды.

457. Измѣреніе расхода воды въ рѣкѣ производится однимъ изъ двухъ слѣдующихъ способовъ: посредствомъ запруды и посредствомъ измѣренія скорости теченія или расходъ воды въ рѣкѣ изчисляется по даннымъ размѣрамъ русла и продольному его уклону.

1. Измѣреніе расхода посредствомъ *запруды* есть самое точное, но приложимо только къ малымъ потокамъ. Запруда ставится поперегъ рѣки такъ, чтобы позади ея образовался прудъ почти стоячей воды, изъ котораго она переливается черезъ водосливъ или сквозь другое отверстіе съ острыми краями въ отвѣсной стѣнкѣ; возвышеніе горизонта стоячей воды передъ запрудою измѣряется по отвѣсной рейкѣ, которой нуль долженъ быть въ уровень дна водослива или противъ центра круглаго или прямоугольнаго отверстія, сквозь которое выливается вода. Законы расхода воды сквозь отвѣсныя отверстія изложены въ § 449.

Изъ опытовъ г. Джемса Томсона, изложенныхъ въ Reports of the british association 1861, оказывается, что для рѣкъ съ непостояннымъ расходомъ лучшая форма водослива есть треугольникъ, обращенный вершиною къ низу, потому что при немъ какъ большія, такъ и малыя количества измѣряются съ одинакою точностью, и коефиціентъ сжатія почти постоянный. Если одного такого отверстія мало, то г. Томсонъ совѣтуетъ поставить ихъ нѣсколько одно возлѣ другаго и въ одномъ уровнѣ. Въ прудѣ можно устроить флютбетъ изъ досокъ въ уровнѣ вершинъ треугольныхъ отверстій.

Для затопляемыхъ водою отверстій лучшія формы суть

кругъ и квадратъ, потому что при нихъ коефиціенты сжатія менѣе измѣняются, нежели при продолговатыхъ формахъ отверстій (§ 448).

Если одного круглаго отверстія мало, то можно употребить цѣлый рядъ ихъ въ одномъ уровнѣ.

Запруда помѣщается въ прямой части русла для того, чтобы переливающаяся черезъ нее вода не подмывала вогнутаго берега рѣки. Для предохраненія подошвы запруды отъ подмывовъ, надобно защитить дно русла ниже запруды деревянною настилкою или каменною кладкою, или направить воду отъ водослива по деревянному жолобу, который такъ помѣстить, чтобы никакая часть водослива или выпускнаго отверстія не была затоплена.

Наблюденія надъ высотою воды въ прудѣ должны производиться по крайней мѣрѣ разъ въ день, а когда расходъ воды въ рѣкѣ подвергается быстрымъ измѣненіямъ, напримѣръ во время сильныхъ дождей или таянія снѣговъ, также во время спада воды, наблюденія дѣлаются чаще.

II. *Измѣреніе скорости теченія* воды въ рѣкѣ производится въ нѣсколькихъ ея точкахъ. Расходъ воды получается умноженіемъ живаго сѣченія рѣки на среднюю скорость.

Удобнѣйшій инструментъ для измѣренія скорости теченія воды, есть мельница Вольтмана: она состоитъ изъ небольшаго легко вращающагося колеса съ крыльями, на оси этого колеса есть безконечный винтъ, приводящій въ движеніе систему зубчатыхъ колесъ съ счетнымъ механизмомъ, по которому можно узнавать число оборотовъ колеса съ крыльями въ данное время. Инструментъ насаживается на шестъ, посредствомъ котораго можетъ быть опускаемъ на разныя глубины. Отношеніе между скоростью теченія и числомъ оборотовъ мельницы опредѣляется тѣмъ, что двигаютъ мельницу въ стоячей водѣ съ извѣстною скоростью и замѣчаютъ число оборотовъ.

Измѣреніе скорости теченія должно производиться въ прямой и однообразной части русла.

Если за недостаткомъ инструмента или по другой причинѣ нельзя измѣрить скорости теченія въ разныхъ точкахъ русла, то можно ограничиться измѣреніемъ наи-

большей скорости теченія на поверхности воды, наблюдая скорость движенія какого-нибудь легкаго тѣла плывущаго по водѣ или нарочно сдѣланнаго поплавка; средняя скорость узнается по данной наибольшей, при помощи формулъ § 445.

III. *Вычисленіе расхода* по извѣстнымъ размѣрамъ русла и уклону требуетъ тщательнаго нивелированія русла рѣки на нѣкоторомъ протяженіи съ опредѣленіемъ поперечныхъ прорѣзовъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ. Для полученія вѣрнаго результата, надобно выбрать прямую часть русла, однообразную, ничѣмъ не загражденную и не засоренную, гдѣ-бы не было подводныхъ растеній, которыя почти въ десять разъ увеличиваютъ треніе.

Расходъ воды опредѣляется по правиламъ § 451.

IV. *Опредѣленіе величины расхода въ разные годы* можетъ быть сдѣлано довольно приблизительно, когда наблюденія надъ нимъ дѣлались въ продолженіи нѣкотораго періода времени, одновременно съ наблюденіями надъ количествомъ падающаго дождя: отсюда выведется отношеніе между полезнымъ и полнымъ количествомъ падающей воды и когда извѣстно изъ многолѣтнихъ наблюденій наименьшее, среднее и наибольшее количество падающей воды, тогда надобно будетъ умножить эти количества на вышеупомянутое отношеніе и такимъ образомъ, получатся вѣроятные наименьшій, средній и наибольшій расходы воды въ рѣкѣ.

458. Ординарный расходъ воды и паводки. Между хозяевами или строителями вододѣйствующихъ заведеній и владѣльцами прибрежныхъ земель возникаютъ очень часто споры на счетъ различія между ординарнымъ, обыкновеннымъ или среднимъ расходомъ воды въ рѣкѣ и расходомъ во время разливовъ и паводковъ. Когда инженеръ производитъ самъ наблюденія надъ потокомъ при опредѣленіи расхода воды, тогда не трудно установить это различіе.

На случай невозможности такихъ наблюденій, г. Лесли предложилъ слѣдующее эмпирическое правило, принятое многими инженерами.

Опредѣленные наблюденіями въ разные дни расходы воды пишутся въ порядкѣ ихъ величины одинъ подъ

другимъ; весь списокъ дѣлится на четыре части, верхняя четверть принимается за паводки; вмѣсто ихъ ставится число среднее, между цифрами второй и третьей четверти и затѣмъ берется среднее число между всѣми цифрами; это принимается за ординарный расходъ воды за выключкою паводковъ.

Вычисленный такимъ образомъ ординарный расходъ воды во многихъ горныхъ потокахъ составлялъ отъ $^1/_4$ до $^1/_3$ средняго годоваго расхода воды со включеніемъ паводковъ; и результатъ этого близко подходитъ къ полученному тѣми инженерами, которые не слѣдовали правилу Лесли въ опредѣленіи различія между ординарнымъ расходомъ и расходомъ въ высокую воду.

459. Измѣреніе расхода воды въ трубахъ. Употребляемые въ настоящее время инструменты для измѣренія расхода воды, протекающей въ трубѣ, или водомѣры могутъ быть раздѣлены на два класса: поршенные и колесные.

Водомѣръ поршенный есть небольшая водостолбная машина двойнаго дѣйствія, приводимая въ движеніе теченіемъ воды, которой расходъ должно измѣрить. Машина Чадуика и Фроста показываетъ число ходовъ поршня, и каждый ходъ соотвѣтствуетъ извѣстному объему воды. Въ водомѣрѣ Кеннеди все разстояніе пройденное поршнемъ обозначается на циферблатѣ при помощи зубчатыхъ колесъ, получающихъ движеніе отъ стержня при поршнѣ.

Примѣромъ колеснаго водомѣра можетъ служить водомѣръ Сименса, состоящій изъ реакціонной тюрбины, приводимой въ движеніе струею воды: число оборотовъ означается на циферблатѣ.

Водомѣръ Германа есть колесо съ крыльями.

Обыкновенная погрѣшность водомѣра, если онъ хорошъ, бываетъ отъ $^1/_2$ до 1 процента; но при быстрыхъ и значительныхъ перемѣнахъ скорости или напора, ошибки могутъ доходить до $2^1/_2$ процентовъ.

Величина расхода воды, соотвѣтствующаго данному числу оборотовъ водомѣра, должна быть опредѣлена непосредственнымъ опытомъ, а именно наблюденіемъ надъ числомъ оборотовъ колеса при наполненіи водою чана, имѣющаго извѣстный объемъ.

ОТДѢЛЪ III. ВОДОХРАНИЛИЩА.

460. Цѣль устройства водохранилищъ и ихъ объемъ. Водохранилищемъ называется то мѣсто, гдѣ собираютъ избытокъ дождевой воды и откуда ее постепенно выпускаютъ по мѣрѣ надобности. Водохранилище устраивается для того, чтобы:

Предотвращать убытки производимые разливами воды въ мѣстностяхъ, лежащихъ ниже водохранилища.

Предохранять подобныя мѣстности отъ дурныхъ послѣдствій засухи.

Увеличить обыкновенный или полезный расходъ воды въ рѣкѣ, впуская въ нее всю или часть воды паводковъ.

Имѣть воду изъ рѣки, не уменьшая ея обыкновеннаго или средняго лѣтняго расхода.

Дать возможность осѣсть нечистотамъ, находящимся въ водѣ.

Полезнымъ объемомъ или запасною камерою водохранилища, называется объемъ заключающейся въ немъ воды между высшимъ и низшимъ горизонтомъ рабочей воды: онъ меньше полной вмѣстимости водохранилища на тотъ объемъ, который остается ниже низкаго горизонта рабочей воды. Такой *мертвый объемъ* назначается для отстоя воды и выпускается только тогда, когда нужно сдѣлать въ водохранилищѣ какія-нибудь исправленія или когда хотятъ его чистить. Нельзя дать никакого правила на счетъ величины этого мертваго объема; въ нѣкоторыхъ искуственныхъ, хорошо устроенныхъ водохранилищахъ, глубина мертвой воды составляетъ въ самомъ глубокомъ мѣстѣ *шестую долю* глубины при высокой водѣ.

Объемъ запасной камеры водохранилища зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ: запроса на воду и предѣловъ, въ которыхъ заключается прибыль воды.

Запросъ выражается всегда нѣкоторымъ постояннымъ количествомъ воды въ сутки. Опытъ показалъ, что въ Англіи наименьшая запасная камера должна содержать количество воды, соотвѣтствующее 120-дневному запросу; но случалось что такая камера была не достаточна; въ сухое лѣто даже запасъ воды на 140 дней оказывается малъ,

по этому многіе инженеры совѣтуютъ устраивать водохранилища съ запасомъ воды на *шесть мѣсяцевъ*.

Изъ данныхъ, приведенныхъ Бердморомъ въ его гидравлическихъ таблицахъ, относительно площади бассейновъ, и величины водохранилищъ, въ которыхъ собирается падающая на нихъ вода, видно, что въ запасной камерѣ собирается отъ одной трети до половины полезнаго годоваго количества дождя, выпадающаго въ бассейнѣ.

Кажется что лучше всего опредѣлять вмѣстимость водохранилища сообразно прибыли воды и запросу на нее, держась напримѣръ, такого правила: сдѣлать запасную камеру водохранилища такой величины, чтобы въ ней помѣщался 180-дневный избытокъ запроса надъ наименьшею прибылью воды, измѣренною и разсчитанною по правиламъ предъидущаго отдѣла.

Устроенное водохранилище будетъ соотвѣствовать своей цѣли въ томъ только случаѣ, когда наименьшее количество выпадающей въ бассейнъ воды, будетъ болѣе годоваго запроса на нее. Но когда только среднее количество выпадающаго въ годъ дождя соотвѣтствуетъ запросу на воду, тогда должно разсчитать недостатокъ или разность между наименьшимъ и среднимъ количествомъ воды и на такой объемъ увеличить запасную камеру водохранилища; но гораздо вѣрнѣе и менѣе убыточно въ такомъ случаѣ, увеличить площадь бассейна такъ, чтобы наименьшее количество дождя равно было спросу на воду.

Этихъ правилъ для опредѣленія объема водохранилища должно держаться тогда, когда оно назначается для водоснабженія, но если оно устраивается для предохраненія окружающей мѣстности отъ затопленія, то оно должно помѣщать въ себѣ весь излишекъ выпадающей дождевой воды надъ расходомъ рѣки, безвреднымъ для окружающей мѣстности.

461. Мѣсто для водохранилища. При выборѣ мѣста для устройства водохранилища, инженеръ долженъ имѣть въ виду слѣдующія обстоятельства: возвышеніе мѣстности, видъ поверхности земли и грунтъ, изъ котораго будетъ состоять основаніе насыпи, удерживающей воду.

I. *Возвышеніе мѣстности* должно быть таково, чтобы при самомъ низкомъ горизонтѣ рабочей воды трубы или каналы, которыми спускается вода имѣли достаточное паденіе; но въ то-же время площадь бассейна выше высокаго горизонта рабочей воды должна быть такова, чтобы на нее падало количество воды, достаточное для удовлетворенія спросу.

II. *Поверхность земли* самая выгодная для помѣщенія водохранилища есть котловина съ узкимъ выходомъ, который долженъ быть загражденъ.

Для выбора помѣщенія надобно имѣть планъ мѣстности съ весьма частыми горизонталями (§ 89) или имѣть большое количество прорѣзовъ поверхности земли. Когда мѣсто выбрано, то должно составить планъ его съ горизонталями, возвышающимися одна надъ другою на одинъ футъ, для того, чтобы по немъ можно было вычислить объемъ, соотвѣтствующій каждому футу глубины между высшимъ и низшимъ горизонтомъ рабочей воды. Урѣзъ воды водохранилища есть одна изъ горизонталей. Когда сдѣлаютъ такой планъ, тогда можно по рейкѣ или фут-штоку всегда знать объемъ запасной воды.

Избранную котловину должно изслѣдовать не имѣетъ-ли она истоковъ, кромѣ того, гдѣ предполагается построить запруду; ихъ также надобно будетъ заградить.

Мѣсто, избранное для возведенія запруды, должно быть тщательно пронивелировано не только вдоль (по отношенію къ долинѣ—это будетъ поперечный прорѣзъ), но также и поперегъ запруды перпендикулярно къ ея оси, если нѣтъ особенныхъ причинъ вести прорѣзы подъ острымъ угломъ къ оси запруды. Одинъ изъ такихъ поперечныхъ прорѣзовъ долженъ быть сдѣланъ вдоль существующаго истока изъ котловины, обыкновенно это бываетъ какой-нибудь ручей, и вдоль предполагаемаго *провода* (culvert), который по большей части состоитъ изъ крытой галлереи, содержащей водопроводныя трубы.

III. *Грунтъ* въ томъ мѣстѣ, гдѣ предполагается построить запруду, долженъ быть совершенно непроницаемъ водою; если-же онъ проницаемъ, то глубина его не должна быть такъ велика, чтобы удаленіе его было сопряжено съ большими издержками. Свойства грунта узнаются по-

средствомъ буренія или пробныхъ колодцевъ (§§ 187, 391) и даже если нужно посредствомъ штольнь (§ 392). Во многихъ случаяхъ недостаточно ограничиться только тѣмъ мѣстомъ, гдѣ устраивается запруда, а нужно изслѣдовать грунтъ всей котловины, чтобы узнать не входятъ-ли въ нее верхніе концы проницаемыхъ водою пластовъ, по которымъ могла-бы уходить собранная въ хранилищѣ вода.

Лучшій грунтъ подъ запруду есть глина и потомъ плотная скала не имѣющая трещинъ. Мѣста, содержащіе ключи, должны быть тщательно избѣгаемы.

Инженеръ долженъ въ окрестностяхъ отыскать матеріалъ годный для устройства запруды и чистую глину для ядра ея.

462. Подтапливаемою землею (awash land) называется полоса земли, прилежащая къ водохранилищу и возвышающаяся не болѣе трехъ футовъ надъ высшимъ рабочимъ горизонтомъ. Такъ какъ осушеніе этой земли становится невозможнымъ, то учредители водохранилища бываютъ иногда вынуждены пріобрѣсти ее покупкою.

463. Постройка запруды. I. *Форма и размѣры.* Запруда водохранилища возвышается обыкновенно на 3 фута на высшимъ горизонтомъ рабочей воды, иногда на 4, 6 и даже 10 футовъ. Сверху ограничивается она горизонтальной площадкой, шириною въ треть наибольшей высоты запруды. Внѣшняя или низовая отлогость дѣлается сообразно устойчивости матеріала, т. е. въ полтора или два основанія на единицу высоты; внутренняя отлогость бываетъ положе, обыкновенно въ три основанія на одну высоту.

II. *Разбивка* на мѣстѣ подошвы запруды должна быть произведена какъ можно точнѣе при помощи поперечныхъ прорѣзовъ (§ 67), о которыхъ говорилось въ предъидущемъ параграфѣ. Вотъ два способа, которые для этого очень хороши.

Установите на стойкахъ горизонтальный брусъ въ плоскости предполагаемаго откоса запруды, и позади его поставьте на стойкѣ-же діоптръ котораго прорѣзъ былъ-бы то-же въ плоскости откоса. Визируя по прорѣзу діоптра и краю бруса, можно забить въ долинѣ на поверхости

земли колышки, которые будутъ то-же въ плоскости откоса и обозначатъ подошву запруды. Когда брусъ установленъ въ ребрѣ пересѣченія откосовъ, то онъ можетъ служить для разбивки подошвъ обоихъ откосовъ, надобно только перенести діоптръ на другую сторону бруса. Возвышеніе бруса надъ верхомъ запруды опредѣляется формулою

$$b : (s + s^1) \ldots\ldots (1).$$

а горизонтальное разстояніе отъ оси запруды есть

$$b\ (s - s^1) : 2\ (s + s^1) \ldots\ldots (2).$$

Въ этихъ формулахъ b есть ширина запруды вверху, s и s^1 обратныя величины уклоновъ, откосовъ или число единицъ основанія на единицу высоты.

Другой способъ состоитъ въ томъ, чтобы взять діоптральную линейку или зрительную трубу и установить ея ось вращенія перпендикулярно къ плоскости откоса предполагаемой запруды.

III. *Приготовленіе основанія* для запруды состоитъ въ снятіи верхняго слоя земли, обыкновенно пропускающаго воду, таковы песокъ, гравій, обломки скалъ и т. п. до непроницаемаго грунта. Г. Жардинъ употребилъ слѣдующій способъ для очистки скалистаго грунта отъ верхнихъ растрескавшихся кусковъ камней при постройкѣ Гленкорскаго водохранилища близь Эдинбурга: онъ покрылъ поверхность скалы слоемъ мокрой глины, которую утрамбовалъ; при снятіи этой глины отдѣлились приставшіе къ ней обломки грунта и осталась сплошная скала.

IV. *Проводъ* (culvert), въ которомъ помѣщаются водопроводныя трубы, строится послѣ приготовленія основанія подъ запруду. Онъ выводится на цементѣ или сильномъ гидравлическомъ растворѣ, и подъ нимъ долженъ быть фундаментъ изъ гидравлическаго бетона. Внутренніе размѣры провода должны быть таковы, чтобы сверхъ помѣщенія для трубъ, былъ проходъ для рабочихъ. Форма и толщина кладки опредѣляются по правиламъ § 297. Съ низовой стороны проводъ открытъ и часто имѣетъ крылья, поддерживающія откосъ запруды. Съ верховой стороны проводъ закрытъ непроницаемою для воды каменною стѣною, сквозь которую проходитъ нижняя или

водоспускная труба: иногда эта непроницаемая для воды стѣна помѣщается не въ самомъ началѣ, а гдѣ нибудь въ срединѣ провода. Въ нѣкоторыхъ лучшихъ запрудахъ водохранилищъ бываетъ устроена у верховаго конца провода башня, которая содержитъ трубы, принимающія воду съ разныхъ горизонтовъ водохранилища, съ кранами или щитами и механизмами для управленія ими.

Снаружи проводъ долженъ быть обложенъ глиняною смазкою, которая должна не пропускать воды между каменною кладкою и насыпью запруды.

Иногда кладутъ чугунную водоспускную трубу безъ всякаго провода или галлереи.

V. *Возведеніе насыпи* производится тонкими горизонтальными слоями (§ 199, ст. III). Средина или ядро запруды должно состоять изъ чистой глины, толщина у основанія должна быть въ треть высоты, а у вершины она можетъ быть на одну треть или на половину меньше. Ядро это должно имѣть непроницаемую для воды связь какъ съ грунтомъ, такъ и съ смазкою, покрывающею водоспускный проводъ. Смитъ трамбовалъ каждый слой насыпи для запруды тѣмъ, что прогонялъ по немъ нѣсколько разъ стадо овецъ между двумя нарочно устроенными временными изгородями.

Къ глинѣ надобно примѣшать нѣсколько золы, для того чтобы крысы не рыли норъ въ запрудѣ, но количество примѣси должно быть не велико, иначе глина сдѣлается проницаема водою.

На время возведенія запруды надобно устроить временный отводъ воды изъ бассейна такой величины, чтобы по немъ могла пройти вода наибольшаго дождя. Для этого можно заложить трубу достаточныхъ размѣровъ въ водоспускномъ проводѣ или устроить окружный каналъ.

VI. *Одежда вершины и откосовъ.* Наружный или низовый откосъ запруды одѣвается обыкновенно дерномъ. Верховой откосъ со стороны воды вымащивается камнями толщиною около одного фута; каменная одежда должна возвышаться на три фута по крайней мѣрѣ надъ горизонтомъ водохранилища, иногда и больше, если бываетъ большое волненіе. Вершину насыпи можно, подобно внѣшней отлогости, одѣть дерномъ; очень часто ведутъ дорогу

по верху запруды; во всякомъ случаѣ, поверхность должна быть выпуклая для скорѣйшаго стока воды.

На насыпи не должно сажать деревьевъ, ни кустарниковъ, потому что корни ихъ, прорѣзывая землю, оставляютъ въ ней отверстія для воды; не должно также втыкать кольевъ или забивать сваи.

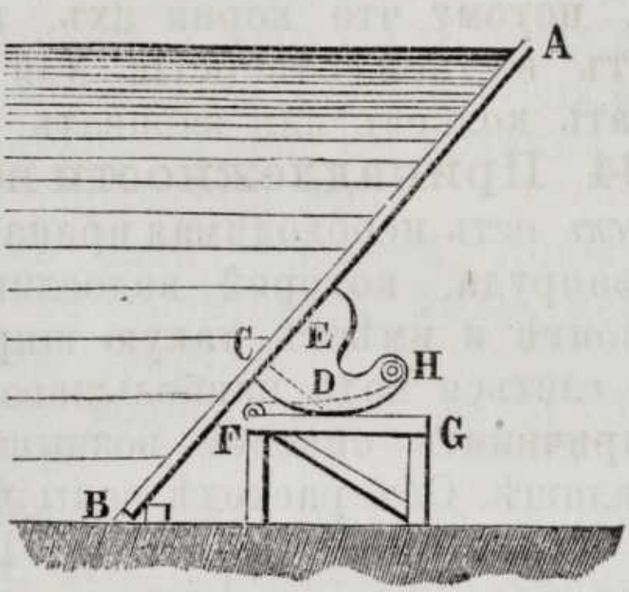
464. Принадлежности водохранилища. I. *Водоспускъ* есть необходимая принадлежность водохранилища; это запруда, которой водосливъ помѣщенъ на такомъ горизонтѣ и имѣетъ такую ширину, что черезъ него можетъ слиться вода наибольшаго паводка, которая могла-бы причинить опасное возвышеніе горизонта въ водохранилищѣ. Объ расходѣ воды черезъ водосливы, говорено въ § 448, ст II, III, VI и VII. Вода переливающаяся черезъ запруду принимается въ открытый или закрытый, смотря по обстоятельствамъ, каналъ и идетъ въ какое-нибудь естественное русло, находящееся ниже запруды водохранилища. Запруда водоспуска строится изъ тесанаго камня, дно водоотводнаго канала у самой плотины лучше всего защищается отъ дѣйствія падающей воды каменными ступенями, разбивающими струи и уменьшающими скорость.

Вмѣсто особаго водоспуска строится иногда *водоспускной колодезь* (waste pit) въ насыпи запруды или возлѣ нея; стѣны его доходятъ до самаго высокаго горизонта рабочей воды. Въ случаѣ сильной прибыли вода поднимается выше стѣнъ колодца, и выводится изъ него трубою или проводомъ, помѣщеннымъ у основанія. Но дѣйствительность этого колодца весьма сомнительна, потому что рѣдко площадь его можетъ быть довольно велика.

II. *Щитовыя отверстія* могутъ быть открыты для вспомогательнаго выпуска лишней воды. Щиты могутъ приводиться въ движеніе особо приставленными къ нимъ людьми или ихъ можно сдѣлать самодѣйствующими. Простѣйшіе и лучшіе самодѣйствующіе затворы, суть Шобаровы.

AB (чер. 289) есть щитъ, представленный закрытымъ, ребро его *A* у высшаго горизонта воды; щитъ поддержанъ двумя чугунными секторами *E*, лежащими на горизонтальной платформѣ *FG*; на окружности каждаго сек-

тора есть жолобъ, въ которомъ лежитъ цѣпь, укрѣпленная однимъ концомъ у платформы въ *F*, а другимъ у сектора въ *H*: эта цѣпь препятствуетъ движенію щита впередъ отъ давленія воды.



Черт. 289.

Когда горизонтъ воды доходитъ до *A*, тогда центръ давленія ея падаетъ въ *C*, на двухъ третяхъ глубины; проведите чрезъ *C* перпендикуляръ къ плоскости щита, онъ пересѣчетъ ось цѣпи въ *D*. Секторъ и платформа должны быть такъ расположены, чтобы точка ихъ прикосновенія была отвѣсно подъ *D*, тогда сопротивленіе цѣпи и платформы будутъ прямо противоположны давленію воды и его уравновѣсятъ.

При возвышеніи воды надъ точкою *A*, она станетъ переливаться, центръ давленія поднимется выше *C*, сила и сопротивленіе перестанутъ быть прямо противоположны, щитъ приметъ другое положеніе равновѣсія, откатившись на секторахъ, причемъ не только ребро *A* понизится, но и ребро *B* поднимется, такъ что площадь, открытая для выхода воды, будетъ гораздо значительнѣе той, которую-бы она протекала, если-бы просто переливалась черезъ постоянный водосливъ.

III. *Проводъ*, *башня*, *мостъ*, *спускныя трубы* и *краны*. Объ проводѣ и башнѣ говорено было въ предъидущемъ параграфѣ. Когда башня устроена въ самой насыпи запруды, тогда она называется *краннымъ колодцемъ* (Valve-pit); но лучше если она стоитъ отдѣльно отъ насыпи и тогда ее соединяютъ съ вершиною насыпи легкимъ пѣше. ходнымъ *мостомъ*.

Если водохранилище служитъ только для уравниванія расхода воды въ рѣкѣ, принимая излишнюю воду, доставляемую паводками или увеличивая ординарный расходъ въ рѣкѣ для водоснабженій или движенія вододѣйствующихъ заводовъ, тогда достаточно одной водоспускной

трубы, проводящей воду въ естественное русло ниже насыпи запруды.

Если-же вода собрана для снабженія города водою или для другой цѣли, требующей чистой воды, то надобно положить по крайней мѣрѣ двѣ трубы. Отверстіе *водоснабдительной* трубы помѣщается у самаго низкаго горизонта рабочей воды хранилища; а *очистительная* труба должна быть у дна водохранилища, она открывается только тогда, когда нужно очистить хранилище, и отводитъ воду въ естественное русло ниже насыпи; дно этого русла должно быть защищено каменной одеждой, если вода вливается съ большою скоростью и можетъ его размывать. Объ расходѣ воды въ трубахъ сказано въ § 450.

Принимающія воду отверстія трубъ должны быть защищены выпуклыми металлическими рѣшотками отъ камней, кусковъ дерева или другихъ тѣлъ, которые могли-бы засорить трубы или повредить краны. Лучшіе краны для такихъ трубъ суть щиты, приводимые въ движеніе винтовымъ механизмомъ.

IV. *Окружный каналъ* (Bye-wash) устроивается для прегражденія входа въ хранилище питающимъ его водамъ, когда онѣ содержатъ много нечистотъ. Размѣры канала опредѣляются по правиламъ § 451. Направленіе его обыкновенно параллельно одному изъ краевъ водохранилища и онъ можетъ тогда принимать воду, переливающуюся черезъ водоспускную плотину.

Случалось иногда, что при постройкѣ водохранилища дозволялось брать въ него только ту воду притекающихъ рѣчекъ, которая превосходила ихъ ординарный расходъ. Вода этихъ рѣчекъ принималась въ такихъ случаяхъ въ окружный каналъ, въ берегѣ котораго были устроены плотины съ водосливами такой высоты, что когда количество протекающей въ каналѣ воды превосходило ординарный расходъ, то вода сливалась въ водохранилище.

V. *Питательные каналы* (Feeders) приводятъ воду потоковъ или сточную воду дренажей къ водохранилищу и увеличиваютъ его бассейнъ. Найдено что вода доставляемая дренажами, составляетъ отъ $^1/_4$ до $^1/_2$ количества воды, падающаго на дренируемую площадь.

Кстати можно указать на *раздѣлительную запруду* (separating weir), придуманную однимъ изъ помощниковъ г. Бетмана и употребленную въ первый разъ при устройствѣ водоснабженія Манчестера.

Поперегъ русла потока возводится запруда, на низовомъ откосѣ которой параллельно ея гребню помѣщается лотокъ на такомъ горизонтѣ, что если рѣка въ разливѣ и по ней текутъ нечистыя воды, то переливающійся слой перескакиваетъ черезъ лотокъ, попадаетъ въ естественное русло и достигаетъ водохранилища, дающаго воду мельницамъ; а при обыкновенномъ теченіи вода попадаетъ въ этотъ лотокъ, и имъ выводится въ городское водоснабдительное хранилище.

Горизонтальное разстояніе x, на которое переливающійся слой отклоняется отъ гребня плотины на глубинѣ z отъ этого гребня, можетъ быть разсчитано слѣдующимъ образомъ. Назовемъ h_1 возвышеніе воды въ прудѣ надъ гребнемъ плотины, v среднюю скорость, съ которой вода переливается черезъ плотину

$$v = \frac{2}{3} \times 8.025 \sqrt{h_1} = 5.35 \sqrt{h_1} \quad \ldots \quad (1)$$

$$x = \frac{2\, v \sqrt{z}}{8.025} = \frac{4}{3} \sqrt{z\, h_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

465. Стѣны водохранилища. У подошвы откосовъ запруды ставятъ часто поддерживающія стѣны; онѣ выводятся на сильномъ и прочномъ гидравлическомъ растворѣ, что особенно важно съ верховой стороны. Объ устойчивости и постройкѣ поддерживающихъ стѣнъ, говорено въ §§ отъ 265 до 271.

Когда запруживаемый выходъ изъ котловины имѣетъ малые размѣры въ высоту и длину, тогда каменная стѣна можетъ замѣнять земляную насыпь. Формулы для опредѣленія устойчивости такой стѣны выводятся изъ общихъ формулъ, относящихся къ поддерживающимъ стѣнамъ предположеніемъ что уголъ покоя есть 0, а вѣскость давящаго вещества 1.73 пуда.

За исключеніемъ того случая, когда грунтъ особенно твердъ, не слѣдуетъ отклонять центръ сопротивленія отъ центра фигуры основанія болѣе какъ на одну четверть толщины стѣны.

Изъ этого слѣдуетъ, что если стѣна имѣетъ обѣ грани отвѣсныя, или одну внутреннюю грань отвѣсную и толщина ея вверху въ четверо менѣе толщины внизу, то толщина стѣны у основанія должна составлять шесть десятыхъ ея высоты.

При построеніи стѣны на слабомъ грунтѣ хорошо совмѣстить центръ сопротивленія съ центромъ фигуры основанія и дать стѣнѣ форму равнобедреннаго треугольника, котораго основаніе равно высотѣ, умноженной на $\sqrt{2}$ или приблизительно на 1.414.

466. Водохранилищныя озера. Чтобы обратить существующее озеро въ водохранилище, надобно устроить при немъ водоспускную плотину и сдѣлать водоемныя трубы у низшаго горизонта рабочей воды. Что касается до водоспусной плотины, то можно иногда естественный истокъ изъ озера обратить въ водоспускъ; но такъ какъ онъ обыкновенно не имѣетъ достаточной ширины, вслѣдствіе чего могутъ быть неправильныя возвышенія горизонта въ озерѣ, то предпочитаютъ сдѣлать запруду поперегъ естественнаго истока и при ней искусственный водоспускъ. Водоемныя трубы могутъ быть помѣщены въ выемкѣ, имѣющей достаточную глубину, или можно пробить тонель сквозь одно изъ окружающихъ возвышеній.

ОТДѢЛЪ IV. ЕСТЕСТВЕННЫЯ И ИСКУССТВЕННЫЯ РУСЛА.

467. Съемка и нивелированіе водяныхъ руслъ. Правила, относящіяся до формы, уклона руслъ, скорости и расхода воды въ нихъ, изложены въ §§ 444, 445 и отъ 451 до 454. Здѣсь-же даны будутъ правила, по которымъ такія русла, какъ естественныя, такъ и искусственныя, улучшаются, исправляются и устроиваются.

Относительно составленія плана существующаго или предполагаемаго водянаго русла къ изложенному о планахъ вообще въ первой части этого сочиненія надобно прибавить только то, что при потокахъ, выходящихъ изъ береговъ, надобно показать границы затопляемыхъ и подтопляемыхъ земель (§ 462); польза доставляемая планомъ

значительно больше, когда на немъ назначены горизонтали.

Продольный нивелировочный прорѣзъ долженъ быть сдѣланъ по оси предполагаемаго русла, а въ существующемъ руслѣ по линіи самаго быстраго теченія; на этомъ прорѣзѣ должно быть показано возвышеніе гребней обоихъ береговъ, дно русла, и горизонты низкой, меженней и высокой воды. Такой продольный прорѣзъ долженъ сопровождаться поперечными прорѣзами, которыхъ число тѣмъ болѣе, чѣмъ форма русла измѣнчивѣе; и на большей части изъ этихъ поперечныхъ прорѣзовъ должны быть показаны затопляемыя и подтопляемыя земли, такъ чтобы можно было на нихъ видѣть полную форму береговъ.

На нивелировочныхъ чертежахъ и планахъ должны быть подробныя обозначенія всѣхъ мостовъ, дорогъ, плотинъ и препятствій, встрѣчающихся въ руслѣ. Свойства грунта должны быть изслѣдованы посредствомъ пробныхъ колодцевъ и посредствомъ буренія, и результаты такихъ изслѣдованій показаны на планѣ и въ прорѣзахъ.

468. Нормальное состояніе потока. Говорятъ что потокъ находится въ нормальномъ состояніи, если грунтъ его русла устойчивъ, т. е. сопротивляется стремленію воды переносить его частицы на другія мѣста.

Слѣдующая таблица, составленная Дюбюа, даетъ наибольшія скорости воды у дна, соотвѣтствующія устойчивости грунта.

Мягкая глина	0.25	фута въ секунду.
Мелкій песокъ	0.50	—
Крупный песокъ и гравій величиною въ горошину	0.70	—
Гравій величиною въ бобъ . .	1.00	—
Гравій въ діаметрѣ 1 дюймъ .	2.25	—
Хрящъ въ діаметрѣ $1^1/_2$ дюйма	3.33	—
Крупный хрящъ.	4.00	—
Мягкій камень, кирпичь, гончарныя издѣлія	4.50	—
Скала разныхъ породъ . . .	6.00	и болѣе.

Объ отношеніяхъ между скоростями на поверхности, по срединѣ потока и у дна говорено было въ § 445.

Русло потока въ скалистомъ грунтѣ находится вообще въ устойчивомъ состояніи. Когда грунтъ содержитъ камни или состоитъ изъ гравія, русло большею частью устойчиво при обыкновенной и не устойчиво при высокой водѣ. Когда грунтъ землистый, то русло только что устойчиво и небольше, или постоянно не устойчиво: первое слѣдуетъ приписать тому, что потокъ несетъ землистыя вещества, которыя по вѣсу осѣдаютъ на дно, и при малѣйшемъ увеличеніи скорости могутъ быть увлечены.

Дно постоянно не устойчиваго потока представляетъ, какъ это заявилъ Дюбюа, рядъ перекатовъ или хребтовъ, которыхъ покаты верховые или противъ теченія имѣютъ малый уклонъ, а низовые или по теченію круты. Частицы грунта влекутся теченіемъ по отлогому скату вверхъ до гребня переката, откуда падаютъ по крутому уклону на дно омута, гдѣ остаются покрытые водою до тѣхъ поръ, пока постепенное движеніе переката впередъ откроетъ ихъ опять дѣйствію воды.

Когда грунтъ береговъ и дна русла не устойчивы, то они постоянно измѣняются въ формѣ и въ положеніи. Прямые берега скоро становятся кривыми, потому что самаго ничтожнаго случайнаго обстоятельства достаточно для того, чтобы отклонить главную струю потока въ сторону и направить ее на одинъ изъ береговъ, который начнетъ подмываться и принимать выпуклую форму; а влекомыя водою землистыя частицы станутъ осѣдать въ той части русла гдѣ теченіе медленнѣе, т. е. у противоположнаго берега, который приметъ вогнутую форму. Кривизна не прямаго русла все болѣе увеличивается, потому что центробѣжная сила, или вѣрнѣе стремленіе воды продолжать движеніе по прямой линіи, собираетъ частицы воды къ выпуклому берегу, гдѣ теченіе становится быстрѣе, чѣмъ у вогнутаго берега; вода подмываетъ берегъ и размываетъ дно, если они не въ состояніи сопротивляться размыву. Уносимая водою земля осаждается далѣе въ такой части русла, гдѣ теченіе медленнѣе. Линія наибольшей скорости или быстраго теченія всегда болѣе искривлена нежели ось русла, и потокъ

стремится дѣлать русло все болѣе и болѣе извилистымъ, увеличивая выпуклости и вогнутости береговъ; и это продолжается до тѣхъ поръ, пока встрѣтится неразмываемый водою грунтъ или пока отъ увеличенія длины, вслѣдствіе извилистости и уменьшенія уклона, скорость потока уменьшится и придетъ въ равновѣсіе съ сопротивленіемъ грунта, тогда потокъ можетъ прійти въ нормальное состояніе. Очень часто нормальность никогда не устанавливается и рѣка течетъ въ извилистомъ руслѣ, постоянно измѣняющемъ форму и положеніе.

Одною изъ главныхъ работъ инженера въ руслахъ потоковъ бываетъ защита ихъ береговъ отъ размывающаго дѣйствія воды: иногда нужно бываетъ дать имъ устойчивость, которой они не имѣютъ въ естественномъ своемъ состояніи, въ другихъ случаяхъ увеличить эту устойчивость для того, чтобы они могли сопротивляться дѣйствію скорости потока, увеличенной вслѣдствіе исправленій или построекъ, произведенныхъ въ руслѣ рѣки.

469. Укрѣпленіе береговъ рѣкъ. Лучшую защиту русла рѣкъ отъ дѣйствія теченія составляютъ густо растущія водяныя ростенія; но такъ какъ они представляютъ значительное сопротивленіе теченію воды, то ихъ надобно замѣнять искусственными укрѣпленіями по крайней мѣрѣ ниже уровня малой воды. Выше этого уровня разсадка ивняку представляетъ хорошую защиту берега отъ дѣйствія паводковъ; но она не приложима въ случаѣ существованія бечевника.

Средства для укрѣпленія рѣчныхъ береговъ суть: I. Фашины; II. Деревянныя обдѣлки; III. Металлическія обдѣлки; IV. Ряжи; V. Каменныя одежды; VI. Поддерживающія стѣны; VII. Буны.

I. *Фашины,* объ которыхъ уже говорилось въ § 417, суть связки иваго хворосту толщиною отъ 9 до 12 дюймовъ; самая большая ихъ длина 20, обыкновенная 12 футовъ, онѣ перевязаны вицами черезъ каждыя 4 фута или около того. Для защиты рѣчнаго берега ниже уровня малой воды кладется *тюфякъ*, состоящій изъ фашинъ, которыя лежатъ длиною по уклону береговаго откоса; верхніе концы фашинъ прикрѣпляются къ землѣ кольями, нижніе опущены въ воду и удерживаются на мѣстѣ на-

груженными на нихъ камнями. Выше уровня малой воды фашины кладутся горизонтально, комлями противъ теченія, и образуютъ ступени съ тѣмъ-же уклономъ, который имѣетъ берегъ рѣки; каждый рядъ фашинъ прикрѣпляется къ землѣ кольями длиною 4 фута; колья возвышаются на 8 дюймовъ надъ фашинами и оплетаются хворостомъ, такъ что образуются плетни, удерживающіе гравій, который насыпается на фашины.

Подъ водою фашины служатъ 10, выше уровня малой воды 6 лѣтъ.

II. *Деревянная обдѣлка* можетъ состоять изъ шпунтоваго ряда, описаннаго въ § 404, или изъ верстовыхъ свай, забранныхъ горизонтальными досками, какъ сказано въ § 409. Сваи такой обдѣлки должны быть удержаны противъ распора земли якорями, которые прикрѣплены къ заложеннымъ въ грунтъ доскамъ; доски эти могутъ быть деревянныя и должны находиться въ достаточномъ разстояніи отъ обдѣлки. Удерживающая сила этихъ досокъ основана на тѣхъ-же началахъ, какъ и металлическихъ досокъ, объ чемъ было говорено въ § 272.

III. *Металлическія обдѣлки* описаны были въ § 404, онѣ должны тоже быть притянуты якорями къ доскамъ, заложенными въ грунтъ. Обдѣлки эти употребительны при устройствѣ набережныхъ судоходныхъ рѣкъ.

V. *Ряжи* или *срубы* употребляются, какъ сказано въ § 409. При устройствѣ набережныхъ, внутренность ихъ наполняютъ глиною и гравіемъ.

V. *Одежда изъ сухихъ камней* употребляютъ для защиты земляныхъ откосовъ имѣющихъ одно, два или болѣе основаній на единицу высоты; она состоитъ изъ грубо обтесанныхъ камней, укладываемыхъ рядами. Толщина ея бываетъ обыкновенно отъ 8 до 12 дюймовъ вверху и увеличивается книзу на 5 или 7 дюймовъ для каждой сажени. Подошву такой одежды надобно упереть въ хорошій фундаментъ: онъ можетъ состоять изъ продолговатыхъ ящиковъ, содержащихъ около 60 кубическихъ футовъ гравія каждый, или изъ ряда свай съ наложеннымъ на нихъ шапочнымъ брусомъ, въ который будетъ опираться каменная одежда; крѣпкость шапочнаго бруса назначается по вычисленію. Онъ подвергается давленію, кото-

рое равно вѣсу одежды, умноженному на отношеніе ея высоты къ длинѣ; треніемъ одежды объ грунтъ можно пренебречь для большей благонадежности.

VII. *Буны* (Groins) суть стѣнки, идущія отъ берега въ перпендикулярномъ къ нему направленіи: онѣ могутъ состоять изъ камней, изъ свай, забранныхъ досками, или изъ плетней. Каждая буна защищаетъ часть берега, котораго длина почти въ пятеро болѣе длины буны. У оконечности ея вода вымываетъ въ днѣ яму, которой ширина равняется почти четверти длины буны, а вымытая земля ложится между бунами. Эти строенія кромѣ того, что представляютъ препятствіе теченію, вредятъ правильной формѣ русла и устойчивости его дна и потому должны быть употребляемы только для временной защиты береговъ, пока будутъ возведены другія лучшія постройки.

470. Улучшеніе рѣчныхъ руслъ. Недостатки русла, которыя надобно исправить, бываютъ слѣдующихъ родовъ: русло можетъ быть мелко вообще или въ нѣкорыхъ частяхъ; оно можетъ быть узко вездѣ или частями; оно можетъ быть мѣстами такъ широко, что скорость воды уменьшается и въ уширѣніи образуются мели; уклонъ дна можетъ быть слишкомъ слабъ вслѣдствіе существованія какихъ нибудь препятствій, напримѣръ мелей, острововъ, плотинъ, дурно устроенныхъ мостовъ и тому подобнаго или вслѣдствіе извилистости; случайно, но рѣдко, уклонъ можетъ быть мѣстами такъ крутъ, что грунтъ русла не можетъ сопротивляться размыву отъ быстраго теченія воды: но этотъ недостатокъ всегда бываетъ отъ того, что въ какомъ нибудь другомъ мѣстѣ уклонъ слишкомъ малъ. Русло можетъ имѣть крутые колѣна или повороты, вредные для устойчивости береговъ; оно можетъ дѣлиться на рукава, при чемъ сила потока уменьшается.

Отлагая спрямленія русла до слѣдующаго параграфа, укажемъ здѣсь на работы, которыя производятся въ руслахъ рѣкъ для ихъ улучшенія: I. Выемки для уничтоженія острововъ или мелей и для уширѣнія русла. II. Плотины для стѣсненія руслъ въ мелководныхъ разширѣніяхъ. III. Загражденіе безполезныхъ рукавовъ.

До приступа къ какимъ либо измѣненіямъ въ руслѣ рѣки, надобно тщательно расчитать по правиламъ Отдѣла I

этой Главы дѣйствіе, которое произведутъ эти улучшенія на уровень, уклонъ и скорость потока въ различныхъ его состояніяхъ. Цѣлью работъ должно быть полученіе русла, имѣющаго однообразную форму или постепенно уширяющагося книзу по теченію, а скорость должна быть достаточна для протока полой воды безъ затопленія береговъ больше, нежели сколько можетъ быть допущено, но скорость эта не должна быть столь велика, чтобы вода могла размывать русло и чтобъ трудно или нельзя было защитить его отъ размывовъ.

Всѣ исправленія руслъ должны начинаться съ нижнихъ ихъ частей и продолжаться вверхъ по теченію; потому что всякое улучшеніе дѣйствуетъ на выше лежащія части потока.

I. *Выемки* подъ водою посредствомъ ручнаго или машиннаго землечерпанія или пороховыхъ взрывовъ описаны въ § 410. При мелкой водѣ можетъ оказаться выгоднымъ производить выемку грунта по частямъ, окружая ихъ временными перемычками, какъ для устройства фундаментовъ (§ 409), и отливая воду. Выемка, или вѣрнѣе размывъ, илистаго или песчанистаго грунта дна силою теченія производится установкою въ углубляемомъ мѣстѣ на якоряхъ судна, съ котораго спускается поперегъ рѣки досчатый щитъ. Нижнее ребро щита возвышается надъ дномъ рѣки на 3 или 4 дюйма, и вода, стѣсненная въ такомъ узкомъ пространствѣ, течетъ съ увеличенною скоростью и размываетъ дно. Такимъ образомъ дѣлались въ день выемки отъ $2^1/_2$ до $5^1/_2$ кубическихъ сажень съ однимъ судномъ.

II. *Водостѣснительныя плотины* надобно употреблять съ большою осторожностью и въ томъ только случаѣ, когда излишняя ширина русла есть несомнѣнная причина малой его глубины. Надъ уровнемъ низкой воды онѣ должны возвышаться очень мало для того, чтобы не стѣснить прохода высокой воды. Такія плотины могутъ состоять изъ сухой каменной кладки съ откосами въ одно основаніе на одну высоту или ряда свай, оплетенныхъ хворостомъ съ загрузкою изъ гравія. Плотины послѣдняго рода строятся слѣдующимъ образомъ: два ряда свай забивается въ землю на глубину вдвое большую противъ глубины воды;

діаметръ ихъ долженъ быть не менѣе 20-й доли ихъ длины; разстояніе между сваями вдоль теченія должно быть равно глубинѣ воды; разстояніе между рядами свай поперегъ рѣки дѣлается въ полтора раза болѣе глубины воды. Сваи каждаго ряда оплетаются ивовымъ хворостомъ, а два ряда вмѣстѣ, связываются между собою въ нѣсколькихъ мѣстахъ; пространство между рядами наполняется гравіемъ.

III. *Загражденіе рукавовъ* производится въ верховыхъ ихъ частяхъ; при малой скорости устраиваются запруды изъ камней и гравія, которыя ведутся отъ береговъ къ срединѣ до тѣхъ поръ, пока сомкнутся; при большей скорости можно устроить запруду изъ оплетенныхъ хворостомъ свай, какъ описано выше; когда и это покажется недостаточнымъ, тогда можно устроить запруду изъ судовъ, ящиковъ или ряжей (§ 409 ст. III и IV), которыя пополнить камнями и погрузить на дно. Когда вода не будетъ течь по рукаву, то онъ скоро засорится.

471. Спрямленіе рѣчнаго русла производится для того, чтобы сдѣлать его менѣе извилистымъ. При проектированіи его надобно имѣть въ виду правила изложенныя въ Отдѣлѣ I этой Главы и въ предъидущихъ параграфахъ этого отдѣла; новое русло не должно быть слишкомъ прямо, иначе теченіе будетъ быстро и вода размоетъ его. Нѣсколько изкривленное русло всегда лучше прямаго, потому что въ криволинейномъ руслѣ главная струя можетъ принять постоянное направленіе, близкое къ выпуклому берегу, тогда какъ въ прямомъ руслѣ, направленіе главной струи можетъ подвергаться измѣненіемъ.

Форма поперечнаго сѣченія изъ горизонтальнаго дна и наклонныхъ береговъ описана была въ § 451; эта форма соотвѣтствуетъ наименьшему тренію воды объ грунтъ и употребляется для потоковъ, доставляющихъ воду заводамъ, городамъ и т. п.; но когда русло должно быть судоходно, то форма его соображается съ требованіями плаванія. Объ этомъ говорено будетъ въ Главѣ III этой части.

472. Запруда есть земляная насыпь, каменная или деревянная стѣна, устраиваемая поперегъ русла рѣки.

О дѣйствіи ея на поверхность воды сказано было въ §§ 452 и 453.

Когда запруда учреждается для водоснабженія или полученія рабочей воды, тогда передъ нею образуется водохранище и вода поддерживается въ одномъ уровнѣ между какимъ-нибудь мѣстомъ, стоящимъ на рѣкѣ выше запруды и тѣмъ мѣстомъ, гдѣ находится запруда и откуда вода выводится для того, чтобы двигать гидравлическія машины или для другой цѣли. Позади запруды устроенной для судоходныхъ потребностей образуется длинный прудъ или *плесъ* (бьефъ) съ почти стоячею водою и такой глубины, что суда могутъ въ немъ плавать, что было невозможно до постройки запруды по мелководію или быстротѣ теченія.

При проектированіи запруды, надобно обсудить три предмета: ея направленіе и расположеніе, ея форму въ поперечномъ сѣченіи и ея постройку.

I. *Расположеніе и направленіе запруды.* При выборѣ мѣста для запруды надобно избѣгать крутыхъ колѣнъ, иначе переливающаяся черезъ запруду вода, особенно когда она высока, будетъ подмывать выпуклый берегъ. Вообще хорошо для предохраненія береговъ, если вода переливающаяся черезъ запруду устремляется отъ береговъ къ срединѣ русла: этого можно достигнуть расположеніемъ запруды въ планѣ по дугѣ, выпуклой противъ теченія, или по двумъ пересѣкающимся прямымъ подъ угломъ, котораго отверстіе обращено въ сторону теченія. Другое средство предохранія береговъ состоитъ въ возвышеніи краевъ запруды надъ ея срединою; переливающаяся у краевъ вода будетъ имѣть мало силы и по этому менѣе вредитъ.

Для того чтобы уменьшить высоту и протяженіе подпорнаго горизонта во время высокой воды, водосливъ запруды дѣлаютъ шире русла потока тѣмъ, что даютъ запрудѣ наклонное направленіе относительно русла или ведутъ ее поломаной линіи, какъ объяснено было выше. Достиженіе предполагаемой цѣли этими способами сомнительно, но расположеніе запруды входящимъ уклонъ увеличиваетъ ея устойчивость.

II. *Форма поперечнаго сѣченія.* Задняя или верховая

грань запруды бываетъ крута; или совсѣмъ отвѣсна или имѣетъ уклонъ, непревосходящій 1 основанія на 1 высоту. Гребень запруды шириною не менѣе 2 или 3 футовъ горизонталенъ или имѣетъ нѣкоторую выпуклость.

При начертаніи низоваго откоса запруды надобно позаботиться о предохраніи основанія его отъ размыва переливающеюся черезъ запруду водою: самый обыкновенный способъ состоитъ въ устройствѣ длиннаго пологаго откоса, имѣющаго отъ 3 до 5 основаній на 1 высоту, тогда треніе уменьшаетъ скорость воды и ударъ ея о дно русла происходитъ въ косвенномъ направленіи. Дальнѣйшая защита дна состоитъ въ продолженіи откоса ниже дна и легкомъ его изкривленіи потомъ не много вверхъ. Низовой откосъ дѣлаютъ также иногда совершенно отвѣснымъ и у подошвы его устраиваютъ изъ камня или дерева почти горизонтальный полъ и флютбетъ, который принимаетъ падающую съ гребня запруды воду.

Надобно полагать, что лучше всего было-бы образовать низовой откосъ запруды ступенями, состоящими изъ отвѣсныхъ граней и горизонтальныхъ площадокъ и имѣющими общій уклонъ въ 3 основанія на 1 высоту; тогда большой водопадъ раздѣлится на нѣсколько малыхъ, безвредныхъ для площадокъ, на которыя они падаютъ.

III. *Постройка запруды.* Для того, чтобы вода изъ пруда не могла пройти подъ основаніемъ запруды или проникнуть за *корнями* ея, которыми она связывается съ берегомъ, надобно изслѣдовать, выбрать и устроить ея основаніе съ предосторожностями описанными при устройствѣ запруды водохранилища въ §§ 461 и 463.

Для устройства запруды изъ дерева, камня и глины вмѣстѣ, можно употребить способы, описанные въ § 409 въ ст. II, III и IV съ тѣмъ только дополненіемъ, что гребень и откосы плотины должны быть обшиты досками параллельно теченію воды и что дно русла у подошвы запруды должно быть защищено каменною мостовою или досчатымъ помостомъ на деревянномъ ростверкѣ или на сваяхъ.

Фашинная запруда возводится горизонтальными слоями, удерживаемыми на мѣстѣ кольями и плетнями, между ко-

торыми насыпается глина и гравій, подобно тому, какъ это дѣлается при укрѣпленіи береговыхъ откосовъ (§ 469). Гребень, верховой и низовой откосы одѣваются фашинами, образующими родъ тюфяка.

Запруда изъ *сухой каменной кладки* подобна каменной плотинѣ при водохранилищѣ, описанной въ § 412: она имѣетъ съ верховой стороны крутой, а съ низовой пологій откосъ, одѣтый или вымощенный грубо обтесаннымъ камнемъ, который кладется рядами, подобно одеждѣ береговыхъ откосовъ (§ 469). Иногда для удержанія камней на мѣстѣ строится остовъ, состоящій изъ свай, соединенныхъ горизонтальными продольными и поперечными схватками. Объ давленіи на продольныя схватки, говорено въ § 469.

Запруда изъ каменной кладки на растворѣ можетъ, подобно другимъ подводнымъ строеніямъ, быть основана прямо на грунтѣ, на слоѣ бетона, на деревянномъ ростверкѣ или на сваяхъ, смотря по обстоятельствамъ (см. Часть 2, Глава VI, отдѣлъ II). Въ случаѣ деревяннаго фундамента шпунтовый рядъ съ верховой стороны у подошвы запруды необходимъ для того, чтобы предупредить просасываніе воды подъ основаніемъ; въ самомъ-же ростверкѣ не должно быть продольныхъ брусьевъ, т. е. параллельныхъ теченію, во всю длину фундамента, потому что это были-бы пути для воды. Кладка должна возводиться на цементѣ или быстро твердѣющемъ гидравлическомъ растворѣ; ядро плотины можетъ быть изъ бута положеннаго рядами или бетона насыпаннаго слоями; но лицевыя грани должны состоять изъ тесанаго камня, а гребень долженъ состоять изъ плитъ, положенныхъ тычками и связанныхъ желѣзомъ.

Лучшее средство предупредить просасываніе воды за корнями плотины, есть продолженіе ихъ далеко въ берегъ; но очень часто каменная запруда примыкаетъ къ набережной поддерживающей стѣнѣ, которая устраивается съ контрфорсами или примкнутыми поперечными стѣнами, предупреждающими просасываніе.

IV. *Принадлежности запруды. Водоспуски.*

Когда запруда помѣщена въ судоходной рѣкѣ, то въ ней долженъ быть устроенъ *шлюзъ* для пропуска судовъ;

объ шлюзахъ говорено будетъ впослѣдствіи. При запрудѣ должны быть отверстія съ кранами или щитами, подобныя устраиваемымъ при водохранилищахъ и соотвѣтствующія цѣли, для которой они назначаются.

Въ запрудѣ должны быть всегда водоспуски, открываемые для пропуска большой воды или паводковъ, которые могли-бы чрезмѣрно поднять подпорный уровень. Отверстія могутъ закрываться деревянными или желѣзными щитами, скользящими по пазамъ, которые сдѣланы въ боковыхъ стѣнахъ отверстій запруды и имѣютъ обыкновенно отвѣсное направленіе; щиты поднимаются винтовымъ механизмомъ или домкратами. Отверстія не должны быть шире 4 или 5 футовъ. Если такая ширина недостаточна, то можно сдѣлать въ запрудѣ нѣсколько отверстій, которыя отдѣляются одинъ отъ другаго стѣнками, образующими родъ быковъ; каждое отверстіе закрывается особымъ щитомъ. Объ расходѣ воды сквозь водоспуски или отверстія въ запрудахъ, смотрите §§ 448 и 449.

Для закрыванія отверстій въ запрудахъ употребляются также *шандоры* (needles). Въ отверстіи помѣщается поперегъ его два бруса, одинъ постоянный на полу, другой подвижной вверху отверстія, концы его входятъ въ гнѣзда, сдѣланныя въ стѣнкахъ отверстія. Размѣры этого бруса должны быть опредѣлены вычисленіемъ, онъ долженъ выдерживать давленіе воды на всю площадь отверстія. Самое отверстіе закрывается рядомъ отвѣсныхъ четырегранныхъ брусьевъ, съ круглыми рукоятями въ верхнемъ концѣ; плотно прилегающіе другъ къ другу брусья, составляя сплошную стѣну, упираются нижними концами въ нижній постоянный брусъ, а верхними въ верхній подвижной брусъ, помѣщенный поперегъ отверстія.

Для закрыванія отверстій въ запрудахъ употребляются иногда большія полотна, вращающіяся на горизонтальной оси у дна отверстія или флютбета запруды: когда запруда открыта, тогда полотно лежитъ на флютбетѣ; чтобы закрыть отверстіе надобно поднять полотно, поставить его наклонно противъ теченія, и утвердить въ этомъ положеніи съ низовой стороны подпорками, упирающимися то-

же въ флютбетъ. Въ одной изъ вновь изобрѣтенныхъ системъ запиранія отверстій подпорки съ низовой стороны замѣняются вторымъ меньшимъ полотномъ, которое лежитъ на флютбетѣ подъ большимъ: когда нужно запереть отверстіе, то впускаютъ воду съ верхней стороны запруды по трубѣ, сдѣланной въ постоянной ея части, подъ нижнее полотно, которое давленіемъ воды снизу поднимется, станетъ наклонно по теченію и подниметь верхнее большое полотно, которое становится наклонно противъ теченія. Чтобы открыть отверстіе, надобно выпустить воду въ нижнюю часть русла рѣки изъ подъ малаго полотна то-же по трубѣ, находящейся въ постоянной части запруды и закрытой щитомъ, тогда малое полотно, а за нимъ и большое, лягутъ на флютбетъ.

Отверстіе запруды можетъ быть иногда такъ широко, что его нельзя закрыть однимъ полотномъ или помѣстить между его стѣнами одинъ брусъ, въ который могли-бы упираться шандоры; въ такомъ случаѣ черезъ каждыя 5 или 7 футовъ помѣщаются въ отверстіи легкіе быки, обыкновенно желѣзные. Когда отверстіе открыто, то они лежатъ на флютбетѣ, а когда нужно закрыть запруду, то поднимаютъ быки со дна и утверждаютъ ихъ въ отвѣсномъ направленіи, на нихъ кладутъ рядъ брусьевъ, въ которые уже можно упереть верхніе концы шандоровъ. Такое устройство называется *разборчатою плотиною.*

Для того чтобы не запруживать рѣку, г. Югъ Мекензи предложилъ въ быстрыхъ потокахъ, имѣющихъ большой уклонъ дна, устраивать подъ русломъ тонель, съ отверстіями въ потолкѣ и проводить имъ воду по искуственному руслу, имѣющему малый уклонъ, къ гидравлическому заводу, который помѣщенъ въ низовой части рѣки.

Когда по рѣкѣ подымается вверхъ рыба (лосось), то надобно дать ей возможность пройти за запруду; г. Смитъ ввелъ въ употребленіе русло, устраиваемое на низовомъ откосѣ запруды зигзагами съ довольно слабымъ уклономъ и сравнительно малою скоростью.

473. Мосты черезъ рѣки. Во второй части этого сочиненія изложены правила, по которымъ возводятся

основанія мостовъ, ихъ опоры и верхнее строеніе; о приспособленіи-же ихъ къ проложенію по нимъ простыхъ и желѣзныхъ дорогъ говорено въ предъидущей главѣ этой части, и потому остается сказать здѣсь только то, что относится къ мостамъ, при построеніи ихъ черезъ рѣки.

При выборѣ мѣста для моста, который имѣетъ опоры въ руслѣ рѣки, должно избѣгать крутыхъ колѣнъ, потому что увеличенная стѣсненіемъ скорость воды будетъ вредно дѣйствовать на выпуклый берегъ.

Потокъ должно пересѣкать подъ прямымъ угломъ или возможно близко къ направленію перпендикулярному. Береговые устои не должны стѣснять русла.

Рѣчные устои должны стоять длиною своею параллельно теченію; они должны имѣть цилиндрическія или остроконечныя головы на обоихъ концахъ для того, чтобы ослабить дѣйствіе сжатаго потока; они не должны быть толще того, что необходимо для благонадежности моста. О каменныхъ рѣчныхъ устояхъ и быкахъ говорено въ § 293.

Начала арокъ должны быть выше обыкновенныхъ высокихъ водъ рѣки, степень возвышенія зависитъ отъ потребностей судоходства; надобно также чтобъ было довольно мѣста для пропуска самыхъ высокихъ водъ. Ключь самой низкой арки моста долженъ быть выше горизонта самой высокой воды на три фута для пропуска плавающихъ тѣлъ.

Здѣсь можно замѣтить, что наибольшую площадь для прохода воды даетъ гидростатическая арка, описанная въ § 283.

Если при осмотрѣ мѣстности, выбранной для моста и заливаемой водою, окажется что долина служитъ не временнымъ хранилищемъ для высокой воды, а временнымъ широкимъ русломъ, по которому протекаютъ эти воды, то подъѣзды къ мосту не должны состоять изъ сплошныхъ насыпей, а должны быть замѣнены путепроводами.

При начертаніи моста черезъ рѣку на обыкновенной дорогѣ для того, чтобы получить наибольшую площадь отверстія при наименьшихъ издержкахъ на устройство подъѣздовъ, дорогу дѣлаютъ подъемомъ, имѣющимъ нормальный уклонъ, отъ начала подъѣздовъ къ срединѣ

моста. Тогда при нѣсколькихъ аркахъ, средняя должна быть самая большая и арки идутъ постепенно уменьшаясь къ краямъ моста. Арки должны быть такъ начертаны, чтобы горизонтальный распоръ былъ въ нихъ по возможности одинаковъ.

Объ наплавныхъ мостахъ будетъ говорено въ послѣдствіи.

Въ рѣкахъ, по которымъ идетъ ледъ въ большомъ количествѣ, надобно для защиты моста строить *ледорѣзы*.

Каменный ледорѣзъ есть часть верхней головы быка, онъ представляетъ теченію ребро, наклоненное противъ него подъ угломъ около 45^0 къ горизонту: по немъ поднимаются льдины и ломаются отъ собственнаго своего вѣса. Примѣръ такахъ ледорѣзовъ можно видѣть на рисункѣ моста Викторія (чер. 249).

Деревянный ледорѣзъ обыкновенно стоитъ отдѣльно отъ быка, который онъ защищаетъ, въ близкомъ отъ него разстояніи вверхъ по теченію. Наклонное ребро его образуется брусомъ, 12 или 14 дюймовъ въ сторонѣ, обшитымъ листовымъ желѣзомъ; основаніемъ ледорѣзу служатъ сваи, расположенныя по треугольнику, обращаемому вершиною противъ теченія; въ эти сваи упираются стойки и подкосы, поддерживающіе наклонный брусъ. Для защиты деревянной связи отъ льда кладутся горизонтальныя схватки.

474. Искусственныя водяныя русла. Водопроводы. При начертаніи и построеніи искусственнаго водянаго русла, надобно стараться такъ соразмѣрить уклонъ съ поперечнымъ сѣченіемъ, чтобы скорость воды была не менѣе однаго фута въ секунду, иначе русло засорится, и не больше четырехъ футовъ, потому что при большей скорости вода переноситъ камни.

Что касается до широкихъ водяныхъ руслъ, и такихъ которыя всегда открыты и находятся въ выемкахъ, то объ нихъ нечего прибавлять къ тому, что сказано относительно рѣчныхъ руслъ, особенно о спрямленіяхъ рѣкъ (§ 471) Объ искусственныхъ руслахъ, устроенныхъ въ насыпи, говорено будетъ впослѣдствіи.

Когда русломъ проводится вода для снабженія города, то для чистоты ея надобно одѣть русло кирпичемъ или

камнемъ положеннымъ на цементѣ; такая одежда сохраняетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и русло; хорошо бываетъ также закрывать русло, если оно идетъ въ мѣстностяхъ, гдѣ много дыму или воздухъ не чистъ. Когда на одежду русла употребленъ кирпичь или скважистый камень, то не мѣшаетъ покрыть его слоемъ известковаго или асфальтоваго цемента.

Форма каменнаго или кирпичнаго русла должна быть такая, которая при данной площади представляетъ наименьшую среднюю гидравлическую глубину т. е. полукругъ, полквадрата или полшестиугольника (см. § 451). Для сохраненія въ руслѣ постояннаго количества воды, надобно устроить въ бокахъ его водоспуски у такихъ мѣстъ, гдѣ лишняя вода можетъ быть удобно отводима въ сторону.

Когда необходимо вести русло по насыпи, то она должна быть возведена тонкими слоями, хорошо утрамбована и содержать большую примѣсь камней къ землѣ; ширина насыпи вверху должна быть такова, чтобы по обѣимъ сторонамъ русла были бермы шириною отъ 4 до 6 футовъ, такъ что полная ширина насыпи вверху будетъ равна ширинѣ русла увеличенной 8 или 12 футами. Подъ каменною одеждою русла должна быть глиняная смазка или гидравлическій бетонъ.

Лучшая форма *крытаго водопровода* съ постояннымъ расходомъ воды, есть цилиндрическая. Чтобы защитить такой водопроводъ отъ мороза его надобно закладывать въ грунтъ ниже промерзанія земли т. е. на 4 или 5 футовъ подъ поверхностью ея; или покрыть его на такую-же толщиною землею, одѣтою дерномъ. При помѣщеніи водопровода подъ землею его крѣпкость должно расчитать по правиламъ § 298.

Самый большой изъ устроенныхъ до сихъ поръ цилиндрическихъ водопроводовъ есть Лохъ-Катринскій, діаметромъ въ 8 футовъ.

Крытый водопроводъ долженъ имѣть, подобно тонелю, закрытые рѣшоткою отдушины или даже колодцы, сквозь которые можно было-бы въ него спускаться для починокъ.

При перемѣнномъ расходѣ, какъ это бываетъ въ водо-

стокахъ, должно предпочитать яицеобразную форму, обращенную узкую частью внизъ.

Новѣйшее усовершенствованіе въ устройствѣ водопроводовъ принадлежитъ г. Ричардсону, который дѣлаетъ ихъ цилиндрическими изъ листоваго желѣза и одѣваетъ изнутри кирпичемъ; этимъ достигается большая крѣпкость и устойчивость при малой тратѣ матеріала.

475. Соединеніе водяныхъ руслъ. Когда два русла соединяются въ одно, то оси ихъ должны быть кривыя линіи или одна прямая, а другая кривая, касающіяся одна другой въ точкѣ соединенія; если-же нельзя избѣжать угла, то онъ долженъ быть по возможности остръе. Тоже правило относится къ отдѣленію вѣтви отъ главнаго русла, къ трубамъ и открытымъ русламъ.

476. Водопроводные мосты отличаются отъ дорожныхъ тѣмъ, что вмѣсто дорожнаго пути устроивается на нихъ русло или жолобъ для воды; механическія правила ихъ возведенія не содержатъ ничего такого, что не было-бы изложено во второй части этого сочиненія.

Русло или жолобъ дѣлается изъ того-же матеріала, изъ котораго возведено все строеніе. Напримѣръ въ каменномъ водопроводѣ русло дѣлается изъ камня, положеннаго на глинѣ или на бетонѣ, который лежитъ на сводѣ между наружными наддужными стѣнами.

Въ нѣкоторыхъ вновь устроенныхъ желѣзныхъ водопроводахъ, введенныхъ г. Симпсономъ, русло для воды есть въ тоже время мостовая балка и потому само себя поддерживаетъ: форма ея трубчатая, овальная въ сѣченіи; внутренность такой балки должна быть гладкая, чтобы не останавливать теченія; всѣ скрѣпы должны быть снаружи.

О трубопроводныхъ мостахъ, будетъ говорено въ послѣдствіи.

477. Водопроводныя трубы. Діаметръ водопроводныхъ трубъ назначается сообразно ихъ уклону и наибольшему расходу по правиламъ § 450. Трубы для провода большаго количества воды дѣлаются преимущественно изъ глины или чугуна.

I. *Глиняныя или гончарныя трубы* бываютъ разной плотности отъ скважистаго матеріала, подобнаго красному

кирпичу, до твердаго и плотнаго, покрываемаго глазурью для непроницаемости водою. Діаметры бываютъ разные: отъ 2 дюймовъ до 3 футовъ, длина отъ 1 до 3 футовъ. Трубы изъ плотнаго матеріала имѣютъ значительную вязкость и могутъ выдерживать гидростатическое давленіе высокаго столба воды; но онѣ хрупки и легко разбиваются внезапными и быстрыми ударами, такъ что ихъ не благоразумно употреблять при высокихъ давленіяхъ тамъ, гдѣ ихъ растрескиваніе можетъ причинить вредъ. Вотъ почему онѣ преимущественно идутъ на крытые водостоки при осушеніи земель. Для возможности соединенія каждая трубка имѣетъ на одномъ концѣ *раструбъ* или уширѣніе, въ которое вкладывается конецъ другой трубки и связь дѣлается непроницаемою для воды, когда это нужно, посредствомъ цемента или смолистой мастики (§ 234). Другая вязка очень удобная для укладки и подъема дѣлается при помощи *муфтъ* или шеекъ: трубки имѣютъ по всей длинѣ одинакій діаметръ, а муфта есть короткое кольцо, надѣваемое на концы соединяемыхъ трубокъ и закрывающее ихъ стыкъ. Иногда муфту дѣлаютъ изъ двухъ полуцилиндрическихъ половинъ; а иногда трубки имѣютъ на концахъ полураструбы, которыми онѣ кладутся внизъ, тонкій конецъ слѣдующей трубы кладется на полураструбъ и стыкъ прикрывается полумуфтой. Приготовляютъ крпвыя и подъ острымъ угломъ согнутыя соединительныя трубы, а также и подъ прямымъ угломъ; но послѣднихъ никогда не должно употреблять.

II. *Чугунныя трубы* должны отливаться изъ плотнаго и мягкаго чугуна (§ 353): при этомъ должно обращать особенное вниманіе на правильность формы и на то, чтобъ толщина стѣнокъ была вездѣ одинакова. Каждую трубку слѣдуетъ испробовать молоткомъ нѣтъ-ли пузырей или трещинъ и узнать ея крѣпкость посредствомъ давленія вдвое болѣе того, которое будетъ на нее дѣйствовать.

Чугунныя трубы бываютъ разныхъ діаметровъ отъ 2 дюймовъ до 4 футовъ. Обыкновенно ихъ отливаютъ въ горизонтальномъ положеніи, песчаный болванъ поддерживается желѣзнымъ стержнемъ съ выступающими кулаками; но по отношенію къ точности и плотности слѣдовало-бы ихъ отливать въ отвѣсномъ положеніи, какъ это дѣлаетъ

г. Стюартъ, раструбомъ внизъ. Такая труба отливается съ головою, которая давитъ на низъ и въ которой собираются воздушные пузыри: ее потомъ отбиваютъ (§ 354).

Правило для опредѣленія толщины стѣнокъ трубъ по данному давленію въ пудахъ на квадратный дюймъ, принимая число 6 за коефицентъ благонадежности, дано было уравненіемъ 2, § 150. Такъ какъ годаздо удобнѣе выражать давленіе въ трубахъ столбомъ воды, то мы дадимъ слѣдующую формулу:

$$t = \frac{dh}{1000} \ldots\ldots\ldots (1).$$

гдѣ t есть толщина стѣнки въ дюймахъ, d діаметръ трубы, и h высота столба воды въ футахъ

Впрочемъ есть ограниченія, вызываемыя трудностью отливки и тѣмъ, что наибольшія напряженія проявляются въ трубахъ при ударахъ извнѣ, такъ что стѣнкамъ ихъ даютъ очень часто толщину большую противъ той, какая выйдетъ по формулѣ. Вотъ эмперическое правило, котораго держатся при назначеніи низшаго предѣла толщины стѣнокъ водопроводныхъ трубъ:

Толщина стѣнки никогда не должна быть менѣе средней пропорціональной величины между внутреннимъ ея діаметромъ и одною сорокъ восьмою долею дюйма или алгебрически

$$t = \frac{\sqrt{d}}{2} \ldots\ldots\ldots (2).$$

гдѣ t толщина стѣнки въ дюймахъ, d діаметръ трубы въ футахъ.

Очень рѣдко дѣлаютъ стѣнки трубъ тоньше $^3/_8$ дюйма, какъ-бы узки онѣ ни были.

Длина трубъ различна; самая обыкновенная 9 футовъ за исключеніемъ раструба, который дѣлается въ концѣ каждой трубы и котораго внутренній діаметръ равенъ внѣшнему діаметру узкой части трубы; раструбъ увеличиваетъ вѣсъ трубы на одну десятую или двадцатую. Стыкъ заливаютъ иногда свинцомъ, а иногда обтачиваютъ конецъ трубы и раструбъ такъ, чтобъ они плотно приходились, и замазываютъ стыкъ красною ртутною за-

мазкою: послѣднѣе легче и скорѣе, а первое надежнѣе тѣмъ, что допускаетъ малыя движенія при сжатіи и разширеніи или при неровной осадкѣ.

III. Лучшее предохранительное отъ *ржавчины* средство есть обмазка трубъ извнутри и снаружи смолою, которая проникаетъ въ поры чугуна и пристаетъ очень плотно, такая обмазка уменьшаетъ треніе воды въ трубахъ.

IV. При назначеніи наибольшаго давленія, которое должны выдерживать трубы надобно расчитывать на *гидростатическое давленіе,* т. е. считаемое отъ уровня воды въ резервуарѣ до того мѣста гдѣ лежитъ труба, а не на *гидравлическое* давленіе, соотвѣтствующее движенію воды; это надобно дѣлать на случай остановки движенія воды и засореній въ трубѣ (§ 446).

V. Надобно расчитать *потерю высоты* во время наибольшаго расхода для ряда точекъ по линіи предполагаемаго водопровода по правиламъ изложеннымъ въ первомъ отдѣлѣ этой главы и такимъ образомъ назначить линію *гидравлическаго уклона* (virtual declicaty), которая начнется у точки находящейся отвѣсно надъ впускнымъ отверстіемъ и ниже горизонта воды резервуара на количество равное потерѣ высоты отъ скорости истока и отъ тренія въ отверстіи трубы. Назначеніе этой линіи дѣлается съ тѣмъ, чтобы удостовѣриться не возвышается-ли какая-нибудь точка водопровода надъ этою линіею. Потому что если водопроводная труба гдѣ нибудь поднимается надъ этою линіею, то во время полнаго дѣйствія давленіе становится тутъ ниже атмосфернаго; о такомъ мѣстѣ говорятъ что тутъ есть пустота (partial vacuum). Тутъ воздухъ, который всегда бываетъ въ водѣ, собирается и накопившись можетъ остановить теченіе воды.

Часть трубы возвышающаяся надъ линіей гидравлическаго уклона есть *сифонъ* и по немъ вода не можетъ протекать если по временамъ не будетъ изъ него вытягиваемъ воздухъ.

Воздухъ собирается также и въ частяхъ трубы, которыя ниже линіи гидравлическаго уклона, если ось водопровода волниста, и именно въ высокихъ точкахъ, но такъ какъ его давленіе болѣе атмосфернаго, то отъ него легко освобождаются. Небольшой цилиндрическій пріем-

никъ, называемый воздушнымъ резервуаромъ, ставится надъ высшей точкой такого изгиба трубы и въ немъ собирается воздухъ, выпускаемый сквозь клапанъ, который открывается по временамъ руками или онъ бываетъ самодѣйствующій; въ послѣднемъ случаѣ онъ долженъ быть нагруженъ соотвѣтственно гидравлическому давленію.

VI. Въ низкихъ частяхъ волнистаго водопровода собираются осадки, которые по временамъ уносятся водою при помощи очистительнаго крана или клапана.

VII. Водопроводныя трубы изъ листоваго желѣза облитыя смолою были недавно употреблены во Франціи.

478. Укладка трубъ. Трубопроводные мосты. Водопроводныя трубы должно класть на твердомъ основаніи, и закрывать отъ мороза, въ землѣ онѣ должны лежать на глубинѣ отъ 3 до 4 футовъ.

Когда водопроводъ пересѣкаетъ долину, рѣку или дорогу, то иногда можетъ быть выгодно устроить трубопроводный мостъ. Это можетъ быть мостъ какой нибудь изъ описанныхъ прежде системъ или водопроводная труба можетъ быть положена на рядъ устьевъ или подпоръ и одѣта деревомъ или другимъ дурно проводящимъ тепло матеріаломъ для защиты отъ жару и холода. При большомъ отверстіи самой трубѣ можно дать форму арки; примѣръ такого устройства представляетъ Уашингтонскій водопроводъ, устроенный г. Мейгсомъ: арка имѣетъ 200 футовъ отверстія и состоитъ изъ двухъ трубъ одѣтыхъ деревомъ и имѣющихъ 4 фута въ діаметрѣ.

Полный распоръ арки въ пятахъ при постоянной нагрузкѣ расчитывается обыкновеннымъ образомъ, т. е. онъ равенъ произведенію нагрузки погоннаго фута отверстія на радіусъ кривизны у ключа въ футахъ и на секансъ угла наклоненія у пять: но изъ этого надобно вычесть распоръ, передаваемый водѣ, который равенъ произведенію давленія воды на площадь сѣченія трубы. Только остатокъ послѣ этого вычета есть давленіе выдерживаемое металломъ, потому что водяная арка сама принимаетъ часть груза.

Если такая водопроводная арка поддерживаетъ дорожный мостъ, то весь подвижной или временный грузъ падаетъ на нее и крѣпкость ея должно расчитать по фор-

муламъ § 180, задачи IV и V, какъ было объяснено при описаніи чугунныхъ арокъ въ § 374.

Деревянная одежда въ водопроводной трубѣ состоитъ изъ досчечекъ 3-дюймовой толщины, укладываемыхъ внутри трубы по окружности ея: вѣроятно такая внутренняя одежда прочнѣе наружной обшивки, потому что постоянно мокра.

ОТДѢЛЪ V. СИСТЕМЫ ОСУШЕНІЯ ЗЕМЕЛЬ.

479. Общія правила осушенія земель. Когда инженеръ производитъ изысканія объ осушеніи участка земли, то онъ долженъ собрать свѣдѣнія относительно его протяженія, изгибовъ и высоты, количества падающаго дождя, направленія, размѣровъ, уклона и расхода воды въ потокахъ, прорѣзывающихъ этотъ участокъ, согласно тому что сказано въ §§ 456—458 и 467. Иногда надобно бываетъ изслѣдовать не попадаетъ-ли на этотъ участокъ земли вода, кромѣ видимаго его бассейна обозначеннаго окружающими хребтами, изъ другихъ бассейновъ по проницаемымъ водою пластамъ грунта.

Для того чтобы сухость была совершенная, горизонтъ воды во всѣхъ осушительныхъ канавахъ долженъ быть на 3 фута ниже поверхности земли во всякое время. Когда вода поднимается выше, то она или подтопляетъ участокъ или затопляетъ его, смотря потому остается-ли ниже поверхности земли или поднимается надъ нею.

Каждое русло, которымъ отводится вода, должно имѣть достаточные площадь и уклонъ для отведенія всей воды тотчасъ, какъ она въ него попадаетъ, иначе можетъ случиться подтопленіе земли. При невозможности совершеннаго выполненія этого условія, надобно стараться чтобы отступленія были возможно менѣе и кратковременнѣе.

480. Вопросы, относящіеся къ осушенію. Если почва земли какого нибудь участка мокра, то инженеръ долженъ заняться рѣшеніемъ слѣдующихъ вопросовъ о причинахъ мокроты и средствахъ ея удаленія:

1. Возможно-ли и до какой степени уменьшить или предупредить наводненія учрежденіемъ водохранилищъ.

II. Несодержатъ-ли русла потоковъ на этомъ участкѣ возможныхъ къ удаленію препятствій, каковы камни, карчи, острова, мѣстныя съуживанія, дурно устроенныя запруды или мосты; послѣдніе можетъ быть потребуютъ перестройки.

III. Устойчивъ-ли грунтъ въ руслахъ потоковъ и если нѣтъ, то какія мѣры принять для увеличенія устойчивости.

IV. Когда не большой потокъ имѣетъ малый уклонъ, то нельзя-ли дать ему другое направленіе съ большимъ уклономъ и ввести его въ тоже русло, въ которое онъ несетъ свои воды, но только въ низшей точкѣ.

V. Если направленіе потока извилисто, то нельзя-ли его спрямить; при необходимости исправленій, дѣлать ли ихъ въ самомъ руслѣ или прорыть новое русло, независимо отъ вопроса объ извилинахъ.

Всѣ эти вопросы относятся къ предметамъ, о которыхъ разсуждаемо было въ отдѣлахъ III и IV этой главы; но другіе вопросы относятся къ предметамъ, о которыхъ будетъ говорится въ слѣдующихъ параграфахъ.

VI. Имѣютъ-ли существующія канавы достаточную площадь.

VII. До какой степени русла потоковъ могутъ дѣйствовать какъ временныя водохранилища для умѣренія скорости, съ которою большая вода или наводки стремятся по нимъ къ ниже лежащимъ большимъ вмѣстилищамъ водъ.

VIII. До какой степени земли, прилежащія къ рѣкѣ и могущія затопляться, дѣйствуютъ какъ водовмѣстилища и какое вліяніе на низшую часть рѣки будетъ имѣть предъупрежденіе или уменьшеніе такого ихъ дѣйствія.

XI. Можетъ ли быть осушеніе земли произведено улучшеніями существующихъ руслъ или необходимо устроить плотины для того, чтобы ограничить затопленія извѣстными предѣлами.

481. Вмѣстимость водоотводовъ. Если-бы падающая на землю дождевая вода тотчасъ и прямо попадала въ водоотводы, то они должны-бы имѣть уклонъ и площадь такія, чтобы все количество воды по нимъ тотчасъ-же уходило. Вотъ данныя по этому предмету

для Англіи по показаніямъ г. Филипса; изъ нихъ видно что быстрота паденія воды уменьшается съ продолжительностью дождя:

Число часовъ дождя.	Полное количество воды.	Вода выпадающая въ часъ
1	1 дюймъ	1.0 дюймъ.
4	2.	0.5
24	5	0.2

Почва дѣйствуетъ какъ водохранилище и степень этого дѣйствія зависитъ отъ ея состава и плотности; она всегда не допускаетъ до водоотводовъ нѣкотораго количества выпавшей воды, которая испаряется и поглощается растеніями; остальная за этимъ вода притекаетъ быстрѣе или медленнѣе къ водоотводамъ, которые должны проводить съ однообразною скоростью все *полезное* (§ 456) количество выпавшей воды въ промежутокъ времени, котораго продолжительность тѣмъ болѣе, чѣмъ долѣе почва удерживаетъ воду. Вѣроятно для обработанной земли сутки или 24 часа есть довольно короткій періодъ времени, т. е. водоотводъ долженъ принять и отвести въ теченіи сутокъ наибольшее доходящее до него количество воды, которое выпадаетъ въ видѣ дождя въ теченіи однихъ сутокъ; при скалистомъ крутѣ и крутыхъ уклонахъ промежутокъ времени долженъ быть сокращенъ, можетъ быть до четырехъ часовъ; вѣрную цифру можно получить только изъ сравнительнаго наблюденія количества дождя съ количествомъ отводимой воды.

482. Водохранилищное дѣйствіе руслъ и затопляемыхъ земель. Объемъ пространства между обыкновеннымъ уровнемъ воды какой-нибудь части потока и горизонтомъ высокихъ его водъ, будетъ-ли это пространство ограничено съ боковъ только берегами потока или прилежащими къ нему заливными землями, есть резервуаръ, помѣщающій избытокъ общей прибыли упавшей на осушаемый устастокъ воды во время паводка надъ тѣмъ ея количествомъ, которое можетъ пройти по руслу потока въ тотъ-же періодъ времени; по прошествіи его отводъ воды идетъ постепенно. Существованіе этого резервуара дѣлаетъ достаточною такую площадь русла, которая при другихъ обстоятель-

ствахъ была-бы мала; если такое водохранилище уменьшено въ объемѣ пониженіемъ-ли горизонта высокой воды или стѣсненіемъ его посредствомъ плотинъ, то надобно позаботиться объ увеличеніи способности отводить воду въ руслѣ рѣки ниже осушаемаго участка, иначе уменьшеніе разлива въ этомъ участкѣ можетъ произвести затопленіе земель въ низшей части рѣки. Вотъ одна изъ причинъ по которымъ, какъ упомянуто въ § 470, работы по улучшенію рѣкъ должны производиться, начиная съ нижнихъ ихъ частей.

483. Плотины по берегамъ рѣкъ. Если земли прилежащія къ потоку не могутъ быть предохранены отъ наводненій посредствомъ улучшенія русла, то надобно возвести по берегамъ его плотины или дамбы. При назначеніи направленія и мѣста для плотинъ надобно соблюсти приведенное выше правило о достаточности пространства между ними для вмѣщенія большой воды паводковъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ это пространство бываетъ достаточно даже и тогда, когда плотины построены у самаго берега; но вообще надобно ихъ отдалять; а если направленіе потока извилистое, то пространство для большой воды будетъ достаточно при веденіи плотинъ по общему направленію долины, не слѣдуя извилинамъ рѣки; тогда онѣ образуютъ не только водохранилище, но широкое и прямое русло для стока большой воды.

Когда есть притоки, то ихъ берега должны быть тоже ограждены плотинами. При значительной непрерывной длинѣ плотины позади ея дѣлаются вѣтви въ направленіи перпендикуляромъ къ ней, онѣ раздѣляютъ ограждаемыя земли на отдѣльные участки; если главная плотина будетъ гдѣ нибудь прорвана, то при существованіи такихъ вѣтвей, водою залитъ будетъ только одинъ участокъ, а не все ограждаемое плотиною пространство.

Позади плотины, съ береговой стороны, и параллельно ей, роютъ у ея подошвы канаву, изъ которой земля, если годна, можетъ идти на возведеніе плотины. Кромѣ того, что такая канава служитъ русломъ для воды, отводимой съ ограждаемаго пространства, она можетъ дѣйствовать какъ резервуаръ для вмѣщенія этой воды, на то время,

когда рѣка въ разливѣ и не можетъ ее принять. Вода эта выводится въ рѣку трубами, заложенными въ насыпи плотины и имѣющими клапаны, которые отпираются въ сторону рѣки для того, чтобы вода не могла попасть обратно. Такіе клапаны дѣлаются изъ дерева или желѣза; очень хороши клапаны изъ вулканизованнаго каучука, котораго листъ накладывается на желѣзную рѣшотку. Что касается до исчисленія времени какое нужно данному количеству воды для того, чтобы протечь сквозь отверстіе данной площади, то смотрите §455.

Плотины надобно возводить изъ глины, насыпаемой слоями около фута толщины и хорошо трамбуемой. При умѣренной высотѣ и не подверженныя значительнымъ давленіемъ онѣ могутъ имѣть откосы отъ $1^1/_2$ до 2 основаній на 1 высоту. Если откосы подвергаются дѣйствію быстраго теченія и могутъ быть размыты, то ихъ надобно одѣвать камнемъ, какъ береговые откосы (§ 469); въ мѣстахъ не подверженныхъ размыву можно употреблять дернъ, но на плотинахъ не должно разводить деревьевъ, кустарниковъ или живыхъ изгородей, заборовъ ставить на нихъ тоже не должно.

484. Приморскія низменности бываютъ иногда выше самыхъ низкихъ водъ морскихъ приливовъ, но ниже высокаго прилива, или хотя и выше, но не на столько чтобы можно было во всякое время отводить воду съ осушаемой земли въ море. Такія низменности защищаются отъ наводненій посредствомъ плотинъ, о которыхъ будемъ говорить впослѣдствіи.

Лучшее средство осушенія приморской низменности, есть прорытіе на всемъ ея протяженіи такого канала, который могъ-бы служить поперемѣнно то русломъ для стока воды, то водохранилищемъ.

Высшній уровень воды въ этомъ каналѣ долженъ быть таковъ, чтобы боковыя его вѣтви имѣли достаточный уклонъ; низшій его уровень долженъ быть выше низкой воды приливовъ на 1—15-ю долю возвышенія этой воды. Заключающаяся между этими уровнями площадь канала есть водохранилище; по назначеніи глубины и длины водохранилища, средняя его ширина опредѣляется потому условію, чтобы объемъ его былъ достаточенъ для пріема всѣхъ водъ, накопляющихся

въ періодъ однаго прилива. Глубина канала должна быть по крайней мѣрѣ такова, чтобы все это количество воды могло утечь въ море въ теченіи 2 часовъ, т. е. часа предшествующаго отливу и часа за нимъ слѣдующаго; средняя скорость воды при этомъ должна быть расчитана по уклону, соотвѣтствующему разности уровней канала распредѣленной на всю его длину, и средней его гидравлической глубинѣ, когда онъ наполненъ до средняго уровня. Выпускное отверстіе канала должно закрываться полотномъ или щитомъ, который могъ-бы быть мгновенно открытъ во всю ширину и высоту.

485. Водоотливъ употребляется при осушеніи низменностей, которыя ниже уровня высокихъ водъ моря, преимущественно въ Голландіи. Прежде отливъ этотъ производился вѣтряными мельницами, нынѣ-же большею частью паровыми машинами. При такомъ способѣ осушенія всего выгоднѣе устроить водохранилище достаточное для пріема наибольшаго количества воды, которое можетъ выпасть, отливъ-же долженъ производиться равномѣрно и постоянно. На случай починки машинъ или другихъ остановокъ работы, надобно имѣть запасныя машины, которыхъ сила должна быть равна половинѣ или даже всей силѣ дѣйствующихъ машинъ.

486. Осушеніе городовъ. Планы городовъ, которые предполагается осушать должны быть составлены въ большомъ масштабѣ и имѣть болѣе частыя горизонтали, нежели планы другихъ осушаемыхъ земель (§ 59). Количество отводимой воды равно количеству падающей въ видѣ дождя воды съ прибавленіемъ той, которая доставляется искусственными средствами.

Такъ какъ дождевая вода въ городахъ доходитъ до водоотводовъ почти мгновенно, то ихъ уклоны и размѣры должны соотвѣтствовать короткому періоду проливнаго дождя. Метеорологи не согласны въ толщинѣ слоя воды выпадающаго въ часъ при проливномъ дождѣ, одни считаютъ его въ полдюйма, другіе въ дюймъ.

487. Водостоки суть подземные сводочатые каналы, которые проэктируются и строятся по правиламъ изложеннымъ въ §§ 474 и 475; о размѣрахъ сводовъ говорено было § 298. Имъ предпочтительно дается въ поперечномъ

сѣченіи форма овальная узкою частью внизъ; чтобы рабочіе могли въ нихъ входить для чистки и починокъ, они должны быть не менѣе двухъ футовъ шириною.

Скорость движенія воды въ нихъ должна быть не менѣе 1 фута и не болѣе 4 1/2 футовъ въ секунду.

Объ отводѣ воды съ городскихъ улицъ къ водостокамъ, говорено въ § 419.

Такъ какъ по нимъ течетъ много грязи, то водостоки легко засориваются: ихъ надобно по временамъ очищать посредствомъ промыванія, которое состоитъ въ томъ, что выше мѣста гдѣ скопились осадки, ставится временная деревянная запруда, за которою можетъ собраться большее количество воды, выпускаемое вдругъ: проходя съ большою скоростью, эта вода уноситъ осадки.

Что касается до трубъ, проводящихъ воду отъ боковыхъ канавъ, лотковъ или домовъ къ водостокамъ, то онѣ должны имѣть клапаны или сифоны, недопускающіе выхода изъ нихъ вредныхъ газовъ на улицу: эти вредные газы должны выпускаться особенными отверстіями въ нарочито устроенныя отвѣсныя и высокія трубы или приводиться къ существующимъ трубамъ. При водостокахъ должны быть вентиляторы для впуска свѣжаго воздуха, и отверстія для рабочихъ, закрываемыя клапанами.

488. Дренажныя трубы изъ глины, употребляемыя при осушеніи земель, описаны въ § 477: ими въ городахъ проводится вода отъ домовъ и прилежащихъ улицамъ пространствъ къ главному водостоку: діаметръ ихъ бываетъ отъ 4 до 18 дюймовъ, смотря по количеству отводимой воды, ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ давать имъ діаметръ меньшій 4 дюймовъ. Класть ихъ надобно по возможности подъ такимъ уклономъ, чтобы скорость была въ нихъ не менѣе 4 1/2 футовъ для избѣжанія засореній; когда уклонъ ихъ и возвышеніе опредѣлены проэктомъ, то при укладкѣ должно строго держаться проэкта; чѣмъ уже трубы, тѣмъ болѣе будетъ вреда отъ не вѣрной укладки. Засоренія чаще всего бываетъ въ развѣтвленіяхъ трубъ: эти развѣтвленія или соединенія должны производиться по кривымъ линіямъ или подъ острыми углами, но и при такомъ устройствѣ бываютъ засоренія; лучшее средство для избѣжанія ихъ, есть про-

изводство соединенія не въ горизонтальномъ, а въ отвѣсномъ или поперечно-наклонномъ направленіи, если это возможно по глубинѣ.

Обработка нечистотъ, собирающихся въ городскихъ водостокахъ и ихъ употребленіе основано на химическихъ и физіологическихъ соображеніяхъ, которыя выходятъ изъ предѣловъ этого Руководства.

Сифонъ, предупреждающій выходъ вредныхъ газовъ изъ водостока. есть изогнутая труба, обращенная колѣномъ внизъ, и въ этой нижней части находится вода, которая не пропускаетъ воздуху: но чтобы этотъ сифонъ хорошо дѣйствовалъ необходимо, имѣть при водостокѣ особую отводную трубу для газовъ, иначе при накопленіи и увеличеніи ихъ упругости они могутъ пройти сквозь воду.

ОТДѢЛЪ VI. ВОДОСНАБЖЕНІЯ.

489. Орошенія. Для орошенія десятины земли, нужно въ секунду отъ 0.022 до 0.035 кубическаго фута воды: это есть величина *спроса*, на которую надобно расчитывать при устройствѣ водохранилищъ и которую должно выпускать водоспусками при рѣчныхъ запрудахъ (§§ 460 и 472). Русла которыми доставляется вода, должны быть на самой большой высотѣ, соотвѣтствующей наименьшей въ нихъ скорости воды 1 футъ въ секунду, для того чтобы возможно большее пространство орошаемой земли было ниже ихъ. Ихъ размѣры и уклонъ опредѣляются по правиламъ § 451, а постройка производится на основаніяхъ, изложенныхъ въ Отдѣлѣ IV этой главы и особенно въ § 474. Когда водоснабдительное русло заключено между земляными насыпями, какъ это часто бываетъ, то каждая насыпь должна имѣть ядро или отвѣсный слой изъ глины толщиною въ 2 или 3 фута, а гребень насыпи долженъ быть 4 фута ширины.

Договоренное количество воды отпускается потребителямъ или землевладѣльцамъ слѣдующимъ образомъ: съ какой нибудь стороны оросительнаго канала, помѣщается чанъ или танкъ, въ который вода притекаетъ изъ канала сквозь отверстіе, закрываемое щитомъ; щитъ этотъ само-

дѣйствующій и вода въ чанѣ должна держаться постоянно на одной высотѣ. Изъ чана вода выпускается квадратнымъ или круглымъ отверстіемъ извѣстной площади и подъ постояннымъ напоромъ. Различныя количества воды выпускаются изъ чана измѣненіемъ числа отверстій, а не ихъ величины или напора воды.

490. Городское водоснабженіе. Количество спроса на воду. Въ разныхъ городахъ количество воды издерживаемое на каждаго, жителя простирается въ крайнихъ случаяхъ отъ 1/3 до 95 кубическихъ футовъ въ день.

Если хотятъ доставлять достаточное количество воды и экономически построить водопроводъ съ умѣренною потерею воды, то можно полагать на каждаго жителя въ городѣ, сообразно обычаямъ, слѣдующее количество воды въ кубическихъ футахъ на день.

	Наименьшее.	Среднее.	Наибольшее.
Для домашняго употребленія.	1.123	1.605	2.407
Поливка улицъ, тушеніе пожаровъ, фонтаны	0.481	0.481	0.481
На промышленныя заведенія и потери	1.123	1.123	1.123
Общій спросъ въ не фабричныхъ городахъ	2.727	3.209	4.011
Прибавка въ фабричныхъ городахъ	1.605	1.605	1.605
Всего въ фабричныхъ городахъ	4.332	4.814	5.616

Роскошное снабженіе водою вызываетъ усиленное ея потребленіе, при чемъ уравнивается количество воды, издерживаемое лицами разныхъ состояній; предвидя такое измѣненіе въ привычкахъ, надобно при проэктированіи водопроводовъ, назначать наибольшее изъ указанныхъ выше количествъ воды, т. е. отъ 4 до 5½ кубическихъ футовъ воды на каждаго жителя, смотря по количеству фабрикъ.

Напрасная потеря воды часто на много превосходитъ назначенное выше на этотъ предметъ количество

вслѣдствіе небрежности или дурно устроенныхъ апаратовъ: доказано что въ Лондонѣ при дѣйствительномъ потребленіи $1^1/_8$ кубическаго фута воды на каждаго жителя, до 2 куб ф. теряется напрасно Лучшія средства для предупрежденія такихъ напрасныхъ потерь суть: установленіе правила, чтобы домашніе апараты были устраиваемы по указанію и подъ руководствомъ инженеровъ или лицъ, принадлежащихъ къ управленію водопроводами; введеніе на сколько возможно системы продажи воды тѣмъ, кто требуетъ ее не для обыкновеннаго домашняго употребленія; и наконецъ устраненіе большаго давленія въ трубахъ, которыя доставляютъ воду прямо въ дома. О водомѣрахъ сказано было въ § 459.

Предъидущія цифры относятся къ дневному потребленію воды, но должно также имѣть въ виду часовой спросъ, который измѣняется въ разныя времена дня, главнѣйше потому, что въ домахъ большое потребленіе воды производится въ продолженіи нѣсколькихъ часовъ.

Полагаютъ что самое большое домашнее потребленіе происходитъ съ такою быстротою, что если-бы оно было непрерывно, то вся суточная пропорція издержана была-бы въ теченіи 8 часовъ: это значитъ что наибольшее часовое потребленіе превосходитъ втрое среднее часовое.

Вслѣдствіе этого наибольшее часовое потребленіе для разныхъ надобностей можетъ быть назначаемо отъ одного и трехъ четвертей до двухъ съ четвертью разовъ болѣе средняго часоваго потребленія.

491. Высота напора въ водопроводахъ. Считаютъ что высота напора въ главныхъ уличныхъ водопроводахъ должна соотвѣтствовать возвышенію въ 20 футовъ надъ крышами домовъ во-первыхъ для того, чтобы снабженіе верхнихъ этажей домовъ могло производиться непосредственно, во-вторыхъ чтобы для тушенія пожаровъ не нужно было прибѣгать къ пожарнымъ трубамъ.

По опредѣленіи гидравлической высоты напора для каждой части города, надобно назначить начиная отъ водохранилища до каждой части линію гидравлическаго уклона, который долженъ быть по возможности равномѣренъ при повсемѣстномъ употребленіи трубъ. При открытыхъ водопроводахъ въ одной части, а трубъ въ

другой, надобно чтобъ гидравлическій уклонъ трубъ былъ болѣе и слѣдовательно чтобы на ихъ долю падала большая часть гидравлическаго паденія соотвѣтственно ихъ длинѣ для того, чтобы онѣ могли быть уже открытаго водопровода; потому что увеличеніе діаметра трубъ влекаетъ въ большіе пропорціональные расходы нежели уширеніе открытыхъ водопроводовъ. Нельзя дать вѣрнаго правила для распредѣленія паденія между водопроводами и трубами; но въ нѣкоторыхъ хорошихъ примѣрахъ водоснабженій гидравлическій уклонъ трубъ сдѣланъ въ восемь разъ болѣе дѣйствительнаго уклона водопроводовъ Что касается до расхода воды, устройства водопроводовъ и укладки трубъ, то смотрите §§ 450, 451, 474—478.

При волнистой мѣстности города или большомъ его протяженіи, гидравлическая высота напора, которая нужна для возвышенныхъ или отдаленныхъ его частей, приводитъ къ избытку напора въ близкихъ или низкихъ его частяхъ. Этотъ излишекъ напора надобно уменьшить какими нибудь средствами при впускѣ воды въ главные или побочные водопроводы такихъ частей, напримѣръ пропускомъ воды сквозь нѣсколько отверстій и сквозь нагруженные клапаны; послѣднее средство оказывается лучшимъ на дѣлѣ.

492. Замѣнъ взятой воды у владѣльцевъ земель, вододѣйствующихъ заводовъ и источниковъ, долженъ быть равенъ по меньшей мѣрѣ тому количеству воды, которое они употребляли съ пользою для себя до взятія воды на снабженіе города или они должны получить денежное вознагражденіе. Единственное средство въ одно и то-же время снабжать городъ водою и замѣнить отнятую у владѣльца воду изъ того-же источника есть устройство водохранилища, гдѣ-бы могли собираться воды разливовъ и паводковъ, которыя обыкновенно теряются безъ пользы и выпускать ихъ потомъ постепенно.

Для доставленія ежедневнаго количества замѣняющей воды владѣльцамъ, имѣющимъ на нее право, въ разныхъ случаяхъ слѣдовали разнымъ правиламъ. Вотъ три изъ нихъ:

I. Обезпечить имъ среднее лѣтнее количество воды, за

исключеніемъ паводковъ въ размѣрѣ, опредѣленномъ наблюденіями: различіе между обыкновенною и большою водою объяснено въ § 458.

II. Давать имъ опредѣленную по договору, обыкновенно третью часть, всей запруженной воды. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ владѣльцы соглашались на то, чтобы выпускать днемъ большее, а ночью меньшее количество воды.

III. Устроить особенное водохранилище, въ которое собрать воду изъ бассейна и передать его совершенно въ вѣдѣніе владѣльцевъ взамѣнъ взятой у нихъ рѣчной воды.

Принятый обыкновенно способъ отпуска опредѣленной дневной пропорціи воды состоитъ въ установкѣ чана, въ которомъ поддерживается вода на постоянномъ уровнѣ посредствомъ щитовъ, пропускающихъ воду въ чанъ. Изъ чана-же вода выходитъ постоянно однимъ или нѣсколькими отверстіями опредѣленнаго размѣра подъ постояннымъ напоромъ.

493. Устройство водохранилища для водоснабженій подобно тому, что было описано въ Отдѣлѣ III этой Главы. При назначеніи величины бассейна, съ котораго должна собираться вода, надобно принять въ расчетъ то ея количество, которое должно отпускать въ день.

Почти всегда при снабженіи городовъ водою изъ водохранилищъ лучше всего бываетъ такъ выбрать мѣсто для него и такъ расположить водопроводы и трубы, чтобы вода всюду достигала дѣйствіемъ тяжести. Но бываютъ, рѣдкіе впрочемъ, случаи когда можно сдѣлать значительную экономію, особенно въ постройкѣ проводовъ и трубъ тѣмъ, что какую-нибудь высокую часть города снабжать при помощи водоподъемной паровой машины, вмѣсто того, чтобы давать проводамъ и трубамъ большіе размѣры, необходимые для доставленія воды въ эту часть города одною силою тяжести.

494. Ключи доставляютъ такое неравномѣрное количество воды, что ихъ можно причислить только къ источникамъ, которыхъ вода должна собираться въ водохранилищахъ. Но случаются ключи, которыми выходитъ

вода изъ обширныхъ проницаемыхъ водою пластовъ, образующихъ подземныя водохранилища, они даютъ довольно однообразное количество воды независимо отъ искусственнаго накопленія (см. § 456). Если воды такихъ ключей обратить на питаніе водопроводовъ, отведя ихъ отъ рѣки, то надобно доставляемую ими воду замѣнить въ такомъ количествѣ, чтобы средній лѣтній расходъ въ рѣкѣ не уменьшился; для этого нужно собрать воду съ бассейна въ водохранилище и выпускать ее постепенно.

495. Водоснабженіе изъ рѣкъ. Насосы. Для питанія города можно взять воду изъ большой рѣки, если это уменьшеніе количества въ ней воды не нанесетъ вреда судоходству и владѣльцамъ прибрежныхъ земель.

Работы, которыя надобно произвесть въ рѣкѣ для того, чтобы взять изъ нея воду на снабженіе города, состоятъ почти всегда изъ постройки *запруды* для удержанія воды въ постоянномъ горизонтѣ; двухъ или болѣе бассейновъ (settling ponds), куда вода проводится или поднимается, если нужно, насосами; изъ фильтровъ и водоподъемныхъ машинъ.

Въ предѣлы этого Руководства не можетъ войти описаніе устройства и дѣйствія водоподъемныхъ машинъ, но мы приведемъ нѣкоторыя правила, которыя надобно имѣть въ виду, при употребленіи ихъ для снабженія городовъ водою.

I. *Дѣйствительная сила* машины выражается количествомъ воды въ пудахъ, требуемомъ ежечасно, на всю высоту подъема въ футахъ; эта высота считается отъ уровня водохранилища откуда берется вода до той точки, на которую ее нужно поднять для того, чтобы высота напора и гидравлическій уклонъ воды въ трубахъ былъ достаточенъ. По раздѣленіи этого произведенія на 54,000 получится сила машинъ въ паровыхъ лошадяхъ. Сила ихъ по индикатору должна быть въ одинъ разъ съ четвертью больше.

II. *Запасная сила* должна быть по крайней мѣрѣ равна половинѣ дѣйствующей т. е. изъ трехъ одинакой величины машинъ двѣ должны дѣйствовать, а одна быть въ запасѣ.

III. *Воздушные регуляторы* и *стоячія трубы* предохра-

няютъ водопроводныя трубы отъ ударовъ при перемежающемся дѣйствіи насосовъ и поддерживаютъ одинакую высоту напора и однообразную скорость входа воды въ трубы.

Воздушный регуляторъ есть непроницаемый для воздуха пріемникъ, имѣющій форму стоячаго цилиндра съ полушаровыми крышей и дномъ, онъ отливается обыкновенно изъ чугуна. Въ днѣ его есть два отверстія: сквозь одно изъ нихъ вода входитъ изъ насоса, другимъ отверстіемъ вытекаетъ она въ водопроводную трубу. Въ верхней части регулятора находится сжатый воздухъ, котораго количество постепенно уменьшается теряясь частью сквозь скважины матеріала, частью-же поглощеніемъ водою; такъ что необходимо нагнетать туда постоянно небольшое количество воздуха. Умѣряющее дѣйствіе регулятора на высоту напора можетъ быть выражено пропорціею.

$$V : v = H : h$$

гдѣ V есть средній объемъ воздуха въ регуляторѣ, v объемъ насоса, H высота напора, h наибольшее его измѣненіе.

Въ нѣкоторыхъ хорошихъ водоснабженіяхъ, объемъ воздуха въ регуляторѣ въ пятьдесятъ разъ болѣе объема насоса.

Одиночная стоячая труба отливается изъ чугуна, она имѣетъ высоту нѣсколько большую той, которая соотвѣтствуетъ напору; у ея основанія есть впускное отверстіе для воды, идущей отъ насосовъ, и выпускное въ водопроводныя трубы. Площадь сѣченія стоячей трубы почти въ два раза болѣе площади выпускнаго отверстія. Она уравниваетъ давленіе и скорость даже лучше, нежели воздушный регуляторъ, потому что при быстромъ входѣ отъ одного удара поршня вода въ ней поднимается на весьма малое количество сравнительно съ высотою всей трубы.

Двойная стоячая труба имѣетъ двѣ вѣтви, по одной вода идетъ изъ насоса, по другой входитъ въ городскую трубу; обѣ вѣтви соединяются вверху въ одну общую

полость, открытую сверху. При такомъ устройствѣ вода въ стоячей трубѣ безпрестанно смѣняется.

При опредѣленіи размѣровъ и скорости поршней или нырялъ насосовъ, которые должны доставлять извѣстный объемъ воды, обыкновенно увеличиваютъ требуемый объемъ на одну пятую для замѣщенія потерь, происходящихъ отъ того, что часть воды возвращается назадъ при закрываніи клапановъ. Впрочемъ въ хорошо приготовленныхъ насосахъ потеря эта совершенно ничтожна.

496. Колодцы могутъ служить источниками для снабженія водою городовъ въ томъ случаѣ, когда есть содержащій воду пластъ, до котораго можно ими дорыться. Вода въ такомъ пластѣ имѣетъ дѣйствительный или гидравлическій уклонъ къ тому мѣсту, гдѣ вслѣдствіе обнаженія пласта, она выливается въ рѣку или въ море. Если бассейнъ этого пласта имѣетъ большое возвышеніе, и если онъ покрытъ на большомъ разстояніи отъ устья непроницаемымъ для воды слоемъ, то линія гидравлическаго уклона можетъ проходить у мѣста, гдѣ роютъ колодецъ, выше поверхности земли и тогда вода выбрасывается вверхъ струею. Такіе колодцы называются *Артезіанскими*. Въ другихъ случаяхъ вода не доходитъ сама собою до поверхности земли и ее надобно поднимать машинами.

Извлеченіе большаго количества воды изъ содержащаго ее пласта всегда имѣетъ слѣдствіемъ пониженіе ея горизонта, но нельзя опредѣлить заранѣе до какой степени.

Количество воды, которое можно получать изъ какого-нибудь пласта, можетъ быть опредѣлено по указаніямъ § 456, когда извѣстно положеніе и пространство бассейна, что впрочемъ рѣдко можетъ быть изслѣдовано съ точностью.

При рытьи и сверленіи колодцевъ надобно заботиться о томъ, чтобы грунтовая вода не смѣшивалась съ колодезною: буровое отверстіе защищаютъ желѣзными трубами, а шахту одѣваютъ кирпичемъ на цементѣ.

О сверленіи и устройствѣ колодцевъ смотрите § 187 и 391.

497. Очищеніе воды есть предметъ, котораго подробное разсмотрѣніе принадлежитъ химіи и физіологіи,

а не инженерному искусству. Вотъ нѣкоторыя относящіяся къ этому предмету замѣчанія.

Для прачешныхъ, кухонь, лабораторій и фабрикъ вода тѣмъ лучше, чѣмъ ближе подходитъ къ состоянію совершенной чистоты: такова вода въ горныхъ странахъ гдѣ преобладаютъ гранитъ, гнейсъ и глинистый сланецъ, она обыкновенно содержитъ большое количество растворенаго кислорода и углекислоты, она очень здорова для питья и всего пріятнѣе для тѣхъ, которые не предпочитаютъ примѣсь какой-нибудь соли.

Обыкновенныя примѣси къ водѣ суть соли извести и желѣза, безвредныя только при употребленіи ея въ пищу. Соли извести, особенно кислая углекислая известь, суть главныя причины того, что называютъ *жесткостью* воды. Отъ этой извести вода можетъ быть очищена приданіемъ къ ней известковой воды съ такимъ-же количествомъ извести, какое есть уже въ водѣ. Прибавленная известь соединяется съ половиннымъ количествомъ углекислоты и образуетъ мѣлъ, а кислая углекислая известь тоже обращается въ мѣлъ, который по нерастворимости осѣдаетъ, и вода становится мягкою: этотъ способъ смягченія воды предложенъ Г. Кларкомъ. *Степень жесткости* воды узнается по количеству мѣла, которое растворенная въ водѣ известь можетъ образовать. Если изъ ведра воды получается одна пятая золотника мѣлу (0,007%), то вода можетъ считаться сравнительно мягкою, при полузолотникѣ мѣлу (0,017 %) вода рѣшительно жестка.

Воды собираемыя прямо съ бассейновъ, суть самыя мягкія, рѣчныя воды нѣсколько жестки, а воды ключей и колодцевъ самыя жесткія.

Дренажная вода съ населенныхъ и обработанныхъ земель, въ особенности городовъ и ихъ окрестностей содержитъ гніющія органическія вещества, поэтому нездорова, даже вредна и должна быть избѣгаема.

Человѣкъ, привыкшій имѣть чистую воду и дышать хорошимъ воздухомъ можетъ рѣшить на вкусъ вопросъ о негодности воды, хотя и не укажетъ ни количества, ни рода примѣсей; но у того, кто привыкъ къ дурной водѣ и дурному воздуху, вкусъ бываетъ притупленъ.

Окрашивающее вещество торфяныхъ болотъ, которое

есть соединеніе углерода съ водородомъ и кислородомъ, дѣлаетъ воду негодною для многихъ фабричныхъ производствъ; но она можетъ быть годна для питья, если примѣсь не велика и не даетъ ей тухлаго вкуса: вредна-ли такая вода для здоровья или нѣтъ — не рѣшено; жители многихъ городовъ сильно жалуются на этотъ недостатокъ въ водѣ. Продолжительное дѣйствіе свѣта и воздуха уничтожаетъ его, вѣроятно окисленіемъ углерода.

Продолжительное дѣйствіе на воду кислорода разлагаетъ и уничтожаетъ органическія вещества, заключающіяся въ ней. Присутствіе умѣреннаго количества растеній въ водохранилищахъ содѣйствуетъ чистотѣ воды, нужно только чтобы въ немъ жили животныя, питающіяся этими растеніями и недающіе имъ умирать и гнить, а также чтобы было надлежащее отношеніе между разными животными. Уничтоженіе рыбы въ водохранилищахъ вело всегда къ такому распространенію въ нихъ малыхъ черепокожныхъ животныхъ, которыми рыбы питались, что вода получала тошноватый вкусъ отъ масла, которое содержатъ эти животныя: единственное противъ этого средство есть разведеніе рыбы въ водохранилищѣ. Это обстоятельство было изслѣдовано и описано Г. Роджерсомъ, который предложилъ и упомянутое средство.

Мелкія водохранилища неблагопріятны для чистоты воды, потому что въ теплой водѣ, нагрѣтой солнцемъ, развивается множество растеній, которыя умираютъ и гніютъ.

498. Отстой и фильтрированіе. Водохранилище можетъ служить отстойнымъ бассейномъ, въ которомъ осѣдаютъ изъ воды находящіяся въ ней землистыя частицы. Вода поднятая изъ рѣки должна вообще пробыть нѣкоторое время въ отстойномъ бассейнѣ.

Какъ рѣчная, такъ и стекающая съ поверхности земли вода большею частью требуетъ фильтрированія. Фильтръ есть чанъ глубиною около 5 футъ, дно его вымощено, и на немъ лежатъ дренажныя трубы съ открытыми стыками, которыя примыкаютъ къ центральной водопроводной трубѣ; дренажныя трубы покрыты слоемъ гравія толщиною 3 фута и потомъ слоемъ песку толщиною въ 2 или 3 фута. Вода разливается на поверхность песку медленно

и равномѣрно; она постепенно опускается и сквозь дренажныя трубки идетъ въ центральную трубу.

Площадь фильтра должна быть такова, чтобы скорость опусканія воды была не болѣе нѣкоторой цифры, потому что дѣйствительность очищенія воды въ фильтрахъ основана на его медленности. Лучшіе авторитеты назначаютъ ее въ *шесть дюймовъ на часъ*, есть однакожъ очень хорошо дѣйствующіе фильтры, гдѣ вода опускается со скоростью одного фута въ часъ.

Кромѣ дѣйствующихъ фильтровъ должны быть и запасные на случай чистки, которая состоитъ въ снятіи тонкаго слоя песку, гдѣ собирается грязь изъ воды.

При фильтрированіи происходитъ не только механическое, но и химическое очищеніе воды, потому что органическія вещества при этомъ окисляются.

499. Распредѣлительные бассейны. Въ § 490 сказано было что наибольшій часовой спросъ на воду бываетъ почти въ два раза болѣе средняго часоваго спроса: изъ этого слѣдуетъ что трубы, непосредственно проводящія воду въ городъ или часть города, должны имѣть размѣры, соотвѣтствующія удвоенному расходу противъ того, какой былъ-бы при равномѣрномъ потребленіи воды.

Для сокращенія издержекъ на устройство широкихъ главныхъ проводовъ и трубъ устраиваютъ *распредѣлительные бассейны* или *городскіе резервуары*.

Распредѣлительный бассейнъ для какой нибудь части города есть малый резервуаръ, по меньшей мѣрѣ равный объемомъ всему избытку спроса на воду впродолженіи часовъ наибольшаго ея требованія надъ среднимъ потребленіемъ въ теченіи того-же времени. Наименьшій объемъ, при которомъ это условіе будетъ выполнено есть половина дневнаго спроса на воду снабжаемой части города; но на случай непредвидѣнныхъ обстоятельствъ объемъ этотъ можно сдѣлать равнымъ всему дневному потребленію воды и даже болѣе. Резервуаръ этотъ питается равномѣрно главною водопроводною трубою, которая по этому должна имѣть размѣры, соотвѣтствующія среднему часовому потребленію воды. Ночью когда снабженіе превосходитъ потребленіе, вода накопляется въ

распредѣлительномъ бассейнѣ; днемъ, когда потребленіе болѣе доставленія, накопленная вода издерживается.

Площадь распредѣлительнаго бассейна должна быть такова, чтобы измѣненіе его уровня не произвело вреднаго измѣненія высоты напора въ трубахъ или въ уклонѣ.

Онъ можетъ быть построенъ изъ камня или кирпича на цементѣ, при чемъ устойчивость стѣнъ должна быть расчитана по правиламъ § 465; или его можно сдѣлать изъ прямоугольныхъ чугунныхъ плитъ съ закраинами, связанныхъ болтами; противоположныя стѣнки бассейна должны быть связаны тяжами для того, чтобы могли выдерживать давленіе. Фигура въ планѣ зависитъ отъ мѣстныхъ обстоятельствъ, при произволѣ выбора должно предпочесть кругъ.

Возвышеніе бассейна должно быть таково, чтобъ онъ господствовалъ надъ питаемою мѣстностью согласно правиламъ § 491, и чтобъ былъ какъ можно ближе къ ней.

Всякій распредѣлительный бассейнъ долженъ быть закрытъ, для того чтобы охранять воду отъ жару и морозу, также отъ пыли и міазмовъ, носящихся въ воздухѣ многолюдныхъ городовъ. Лучшее закрытіе отъ жару и холоду есть каменный или кирпичный сводъ, съ слоемъ асфальта по верху для защиты отъ воды и земляною насыпью толщиною въ 2 или 3 фута, или слоемъ торфа.

Когда вода приводится къ городу изъ далека, то можетъ быть полезно построить вблизи города, если мѣсто позволяетъ, большой городской резервуаръ или вспомогательное водохранилище такого объема, чтобы воды въ немъ могло помѣститься на цѣлый мѣсяцъ, и чтобъ изъ него можно было снабжать городъ даже и въ случаѣ порчи руслъ, проводящихъ къ нему воду, до ихъ починки. Отъ этого резервуара трубы могутъ идти двойныя для того, чтобы если одна линія потребуетъ исправленія, то снабженіе производилось-бы другою линіею, хотя и въ меньшемъ количествѣ.

Устройство вспомогательнаго водохранилища подобно описанному въ отдѣлѣ III этой главы.

500. Распредѣлительныя трубы должны быть разчитаны на наибольшій часовой спросъ воды и по

требуемой въ улицахъ высотѣ напора, какъ объяснено въ § 490 и 491. Въ большихъ городахъ общая длина распредѣлительныхъ трубъ бываетъ около одной версты на каждые 1500 или 2000 жителей. Чѣмъ городъ меньше тѣмъ меньше пропорціональное протяженіе распредѣлительныхъ трубъ.

Распредѣлительныя трубы, которыя кладутся въ улицахъ, можно раздѣлить на *главныя* (mains) и *уличныя* (service-pipes): разница между ними та, что главная труба можетъ вести воду и дальше улицы, а собственно уличная труба снабжаетъ водою только одинъ или два ряда домовъ, находящихся на этой улицѣ. Въ широкихъ улицахъ и тамъ гдѣ большой проѣздъ, хорошо имѣть два ряда трубъ, по одному на каждой сторонѣ: тогда починки въ нихъ могутъ производиться безъ остановки проѣзда; домовыя трубы коротки и не лежатъ подъ проѣзжею частью улицы.

Когда общій гидравлическій уклонъ для распредѣлительныхъ трубъ въ городѣ или какой-нибудь его части назначенъ и діаметры большей части главныхъ трубъ расчитаны по соотвѣтственнымъ формуламъ, тогда діаметры главныхъ вѣтвей и уличныхъ трубъ могутъ быть легко опредѣлены по тому правилу, что при одинаковыхъ уклонахъ діаметры трубъ пропорціональны квадратамъ корней пятой степени количествъ проводимой ими воды.

Когда водопроводъ одинаковаго діаметра питаетъ рядъ идущихъ отъ него вѣтвей, то скорость теченія въ немъ равномѣрно уменьшается до нуля, гдѣ кончается труба: это есть мертвый ея конецъ (dead end); гидравлическій уклонъ тоже уменьшается и пропорціоналенъ въ каждомъ мѣстѣ квадрату его разстоянія отъ мертваго конца; избытокъ высоты напора въ какой нибудь точкѣ надъ напоромъ мертваго конца пропорціоналенъ кубу разстоянія отъ мертваго конца; и общее паденіе отъ начала трубы до мертваго конца есть одна треть того, что оно было бы, если-бы все количество воды протекало по всей длинѣ трубы, не отдѣляясь въ вѣтви.

У мертвыхъ концовъ всѣхъ трубъ должны быть очистительные краны, открываемые по временамъ для того, чтобы предупредить накопленіе нечистотъ. Трубы должно

класть и располагать такъ, чтобъ было возможно менѣе мертвыхъ концовъ и для того желательно чтобъ уличныя трубы примыкали обоими концами къ главнымъ.

Объ употребленіи нагруженныхъ клапановъ для того, чтобъ умѣрять давленіе, говорено было въ § 491.

Система *постояннаго вододѣйствія* (constant service), при которомъ всѣ распредѣлительныя трубы постоянно наполнены водою есть самая лучшая не только для удобства жителей, но также въ отношеніи прочности трубъ и чистоты воды; потому что трубы, бывающія попеременно то сухи, то мокры, подвергаются ржавчинѣ; а когда въ нихъ нѣтъ воды, тогда онѣ наполняются ржавчиной, пылью, каменноугольнымъ газомъ и даже нечистотами изъ водостоковъ, которыя принимаются водою, когда ее пустятъ въ трубы. Для того, чтобы такое постоянное водоснабженіе производилось съ пользою и бережью, надобно чтобы діаметры всѣхъ трубъ точнымъ образомъ соотвѣтствовали расходу и высотѣ того участка, который ими снабжается и чтобы въ городѣ было довольно городскихъ резервуаровъ. Когда этихъ условій нельзя выполнить, то необходимо прибѣгнуть къ системѣ *перемѣжнаго снабженія* особенно для возвышенныхъ мѣстностей; т. е. доставлять воду поочередно въ разные участки въ опредѣленные часы. При такой системѣ жители должны имѣть *цистерны* въ домахъ, наполняемыя дневною пропорціею воды. Въ бѣдныхъ частяхъ города иногда лучше бываетъ устроить одинъ общій бакъ на нѣсколько малыхъ домовъ, нежели имѣть цистерну при каждомъ домѣ; этотъ бакъ можетъ быть подъ присмотромъ управленія водопроводами и наполняться разъ въ день, а идущія отъ него трубы въ дома будутъ всегда наполнены водою: жители будутъ тогда пользоваться постояннымъ снабженіемъ, хотя бакъ будетъ наливаться только разъ въ день.

ГЛАВА III.

ВНУТРЕННЕЕ СУДОХОДСТВО.

ОТДѢЛЪ I. КАНАЛЫ.

501. Роды каналовъ. Выборъ направленія и возвышеніе. Каналы бываютъ трехъ родовъ:

I. *Открытые каналы* (level canals) которыхъ горизонтъ имѣетъ вездѣ одну высоту надъ моремъ. Лучшее направленіе для такого канала въ экономическомъ отношеніи есть очевидно горизонталь, за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда окажется выгоднѣе прорѣзать хребетъ или пересѣчь долину вмѣсто того, чтобы дѣлать большой обходъ.

II. *Деривационные каналы* (lateral canals) соединяютъ два мѣста одной и той-же долины, они не имѣютъ высшей точки или раздѣльнаго пункта и уклонъ ихъ бываетъ всегда въ одну сторону. Деривационный каналъ дѣлится на горизонтальныя части или *бьефы*, отдѣляющіеся одинъ отъ другаго внезапными измѣненіями уровня, гдѣ помѣщаются однокамерные или многокамерные шлюзы, или другія сооруженія, которыя служатъ для перехода судовъ съ одного уровня къ другому. Паденіе въ каждомъ однокамерномъ шлюзѣ бываетъ отъ 2 до 12 футовъ, но большею частью его дѣлаютъ въ 8 или 9 футовъ. Начертаніе каждаго бьефа подобно открытому каналу. При назначеніи длины бьефовъ и выборѣ мѣста для шлюзовъ, инженеръ долженъ помнить, что сбереженіе воды производится распредѣленіемъ даннаго паденія канала на нѣсколько шлюзовъ однокамерныхъ, раздѣленныхъ бьефами, а не сосредоточеніемъ паденія на одинъ многокамерный шлюзъ.

III. *Каналы съ раздѣльнымъ пунктомъ*, которые соединяютъ двѣ долины раздѣленныя хребтомъ. При выборѣ линіи для такого канала надобно обращать вниманіе на сокращеніе издержекъ при переходѣ черезъ хребетъ и на возможность снабженія достаточнымъ количествомъ воды высшей точки канала или раздѣльнаго пункта. О снабженіи канала водою будетъ говорено впослѣдствіи.

502. Форма и размѣры канала. Хотя для уменьшенія издержекъ при постройкѣ водопроводовъ и мостовъ можно давать каналамъ на короткихъ разстояніяхъ ширину, достаточную для прохода одного только судна, однакожъ нормальная ширина канала должна быть такова, чтобы по крайней мѣрѣ два судна могли свободно разойтись. Глубина канала и площадь его поперечнаго сѣченія такъ расчитываются, чтобы сопротивленіе движенію судовъ не было болѣе того, какое они встрѣчаютъ въ открытой водѣ. Этому правилу удовлетворяютъ выполненіемъ слѣдующихъ условій:

Наименьшая ширина канала у дна вдвое болѣе наибольшей ширины судна.

Наименьшая глубина на $1^1/_2$ фута болѣе осадки судна въ водѣ.

Наименьшая площадь поперечнаго сѣченія въ шесть разъ болѣе площади поперечнаго сѣченія судна въ самомъ широкомъ его мѣстѣ.

Дно канала дѣлается горизонтальнымъ. Берега если они земляные, какъ это по большей части бываетъ, имѣютъ уклонъ не круче 1 или $1^1/_2$ основанія на 1 высоту; каменные берега могутъ быть отвѣсны, но тогда каналъ долженъ имѣть 2 фута добавочной ширины для свободнаго расхода судовъ, а при большой длинѣ канала съ отвѣсными стѣнами нужно и еще болѣе увеличить его ширину для того, чтобы площадь сѣченія была достаточна.

Обыкновенные размѣры судовъ, ходящихъ по каналамъ, расчитаны на бечевую тягу ихъ лошадьми. Выгоднѣйшее употребленіе лошадиной силы состоитъ въ тягѣ грузныхъ судовъ съ малою скоростью. Наибольшій грузъ, который лошадь можетъ тащить по каналу со скоростью отъ 3 до 4 верстъ въ часъ есть 6500 пудовъ, при этомъ длина

судна будетъ 70 футъ, ширина 12 футъ и осадка въ водѣ 4½ фута (нѣсколько менѣе двухъ аршинъ). Легкія суда, движущіяся со скоростью отъ 5 до 6 верстъ въ часъ, имѣютъ ту-же длину, 6 футовъ ширины, и 2½ фута осадки.

Суда, имѣющія ширину болѣе 12 футъ, могутъ быть приспособлены къ движенію паромъ посредствомъ гребнаго винта, тусра или постоянныхъ паровыхъ машинъ.

Обыкновенные каналы удобны для движенія судовъ вышеозначенныхъ размѣровъ; большіе каналы имѣютъ такіе размѣры, что по нимъ могутъ ходить морскія суда.

Вотъ примѣрные размѣры каналовъ:

	Ширина по дну.	Ширина у горизонта воды.	Глубина.
Малые каналы	12 фут.	24 фут.	4 фут.
Обыкновенные каналы	25	40	5
Большіе каналы	50	110	20

503. Постройка канала. Менѣе всего стоитъ постройка такого канала, котораго верхняя часть помѣщается между двумя насыпями, а нижняя въ выемкѣ, если на образованіе насыпей достаточно будетъ земли, взятой со дна канала и изъ рвовъ у подошвы наружныхъ откосовъ насыпей.

Насыпь при каналѣ должна возводиться тонкими хорошо утрамбованными слоями (§ 199). Ширина насыпи, по которой идетъ бечевникъ должна быть вверху въ 12 футъ; другая насыпь должна имѣть не менѣе 4 футъ ширины вверху, и даже иногда 6 футъ. Въ каждой насыпи долженъ быть отвѣсный слой или ядро изъ глины толщиною отъ 2 до 3 футъ.

Когда весь каналъ въ выемкѣ, тогда въ ней должны быть бермы, со стороны бечевника въ 12, а съ другой стороны въ 3 или 4 фута ширины на той-же высотѣ. У подошвы откосовъ на этихъ бермахъ должны быть осушительныя канавы, подобныя описаннымъ въ § 193: вода изъ этихъ канавъ выводится мѣстами въ каналъ посредствомъ трубъ.

Поверхность бечевника бываетъ обыкновенно на 2 фута выше уровня воды въ каналѣ; ей даютъ небольшой

скатъ къ нагорной сторонѣ для того, чтобы дать лучшую опору ногамъ лошадей, которыя всегда идутъ по бечевнику въ косвенномъ направленіи.

Откосы должны быть вымощены камнями толщиною отъ 6 до 9 дюймовъ. Иногда нужно бываетъ одѣвать каналъ бетономъ или обдѣлать берега шпунтовыми рядами для того, чтобы предупредить просасываніе воды.

Естественные потоки, перерѣзывающіе линію канала, должно проводить подъ нимъ посредствомъ мостовъ или трубъ, иногда нужно устраивать опрокинутые сифоны изъ камня или чугуна. Если уровень встрѣчаемаго каналомъ потока выше уровня канала, то водою потока можно воспользоваться для питанія канала: но слѣдуетъ позаботиться о средствахъ перевести всю воду черезъ каналъ, если это понадобится.

Каждый бьефъ канала долженъ имѣть въ какомъ-нибудь удобномъ мѣстѣ водосливъ для того, чтобы вода въ каналѣ не могла подняться слишкомъ высоко; а также водоспуски, сквозь которые можно было-бы выпустить изъ него всю воду, когда понадобится дѣлать въ немъ починки. Если длина бьефа превосходитъ три версты, то въ немъ надобно устроить затворы въ нѣсколькихъ мѣстахъ для возможности осушать каналъ по частямъ. Прямоугольная часть канала подъ какимъ-нибудь мостомъ или каналопроводъ есть самое удобное мѣсто для установки затвора.

Просасыванія въ каналахъ могутъ быть иногда останавливаемы насыпкою мелкаго песку, глины, извести, рубленой соломы и т. п. въ воду. Вещества эти увлекаются водою въ промоины и иногда ихъ затягиваютъ.

504. Каналопроводы и постоянные мосты. Каналопроводъ, подобно описаннымъ въ § 476 водопроводнымъ мостамъ, есть мостъ, поддерживающій водяное русло. Русло это для сбереженія издержекъ имѣетъ ширину, необходимую для прохода одного только судна: его дно совершенно или почти плоское, бока отвѣсные или мало уклоняющіеся отъ отвѣснаго направленія. Въ каменныхъ водопроводахъ толщина боковой стѣнки бываетъ не менѣе 4 футъ; для поддержанія бечеваго пути доста-

точна толщина отъ 6 до 10 футъ, съ парапетомъ въ 15 или 18 дюймовъ толщины.

Въ построенномъ Тельфордомъ чугунномъ каналопроводѣ (Pont-y-Cysylte) чугунное русло поддержано пологими чугунными арками 45 футоваго отверстія. Русло сдѣлано во всю ширину моста, 12 футъ, а бечевой путь шириною въ 5 футъ 8 дюймовъ покрываетъ часть русла.

Цѣпные мосты очень удобно прилагаются къ каналопроводамъ, потому что суда вытѣсняютъ равное имъ по вѣсу количество воды и слѣдовательно временный подвижный грузъ, могущій производить качаніе, составляютъ только люди и лошади, идущіе по бечевнику.

Такого рода водопроводъ, проэктированный Реблингомъ, построенъ у Питтербурга черезъ рѣку Алегану и состоитъ изъ семи пролетовъ каждый въ 160 футъ, ширина канала есть 16 футъ.

О *постоянныхъ мостахъ* черезъ каналы скажемъ только, что подъ ними ширину канала уменьшали до того, чтобы могло проходить одно только судно, бечевой путь дѣлали шириною въ 6 футъ, арка возвышалась на 10 футъ надъ горизонтомъ бечевника. Иногда только русло проводится подъ мостомъ, а бечевникъ переводится черезъ мостъ: подходя къ такому мосту должно отпускать бечеву. О желѣзнодорожныхъ мостахъ черезъ каналы говорено въ § 436.

Въ *тонеляхъ* каналъ и бечевникъ съуживаются, какъ было выше сказано; иногда даже совсѣмъ не бываетъ бечевника и суда проводятъ на шестахъ, упирая ихъ въ гнѣзда, оставляемыя въ каменной кладкѣ тонеля, или силою пара.

505. Подвижные мосты черезъ каналъ мало возвышаются надъ его уровнемъ, они дѣлаются деревянные или металлическіе: они такъ устраиваются, что когда наведены, то по нимъ можно переѣзжать съ одного берега на другой, а когда разведены, то суда могутъ свободно проходить по каналу. Разведеніе и наведеніе моста производится однимъ изъ слѣдующихъ пяти движеній полотна: 1. Вращеніемъ на горизонтальной оси. 2. Вращеніемъ на отвѣсной оси. 3. Откатываніемъ въ гори-

зонтальномъ направленіи. 4. Подъемомъ вверхъ 5. Плаваніемъ по каналу.

Что касается до соразмѣренія крѣпкости и жесткости моста съ наибольшимъ грузомъ, который можетъ на немъ находиться, когда онъ наведенъ, то подвижные мосты подчиняются тѣмъ-же правиламъ, какъ и постоянные. Но кромѣ достаточной крѣпкости и жесткости подвижные мосты должны удовлетворять еще нѣкоторымъ условіямъ, а именно: если мостъ вращается на оси, онъ долженъ быть такъ уравновѣшенъ, чтобы центръ его тяжести былъ на этой оси; если онъ передвигается горизонтально взадъ и впередъ, то центръ тяжести долженъ быть всегда на платформѣ или на томъ основаніи, по которому онъ катится: въ обоихъ случаяхъ онъ долженъ имѣть довольно крѣпкости для выдержанія груза свѣшивающейся части, когда она неподдержана непосредственно. Когда мостъ поднимается вверхъ, то при немъ должны быть противовѣсы, а когда онъ плаваетъ или поддержанъ плашкоутомъ, то плавающая часть должна вытѣснять количество воды по вѣсу равное вѣсу моста и должна имѣть достаточную устойчивость.

I. Вращающійся на горизонтальной оси, помѣщенной у одного изъ его концовъ мостъ, называется *подъемнымъ* мостомъ. При разведеніи полотно его принимаетъ отвѣсное положеніе и вращеніе совершается посредствомъ шестерни, которая ведетъ зубчатое колесо. Такіе мосты очень удобны при малыхъ отверстіяхъ.

II. *Поворотный* мостъ имѣетъ отвѣсную ось вращенія. Главныя его части суть: устой или быкъ изъ камня или чугуна, поддерживающій круглую основную доску, которой діаметръ совершенно или почти равенъ ширинѣ моста. Эта основная доска имѣетъ въ центрѣ шипъ, а по окружности кольцо для катковъ, также какъ поворотныя платформы на желѣзныхъ дорогахъ.

Рама съ катками, вращающаяся около центральнаго шипа, катки ея лежатъ на кольцѣ.

Круглая поворотная платформа, лежащая на каткахъ и опирающаяся на шипъ.

Зубчатая дуга при поворотной платформѣ съ зубчатыми колесами для приведенія ея въ движеніе.

Рядъ параллельныхъ фермъ, опирающихся на поворотную платформу и поддерживающихъ мостовое полотно; крѣпкость и жесткость этихъ фермъ опредѣляется по вышеизложеннымъ условіямъ.

Края полотна обчерчиваются по дугѣ круга, котораго центръ на оси вращенія, такими-же дугами должны быть ограничены проѣзжія части подъѣздовъ къ мосту.

Какъ примѣръ большаго поворотнаго моста можно указать на поворотную часть Николаевскаго моста черезъ Неву въ С.-Петербургѣ, устроенною Г. Кербедзомъ, съ пролетомъ въ 70 футовъ.

III. *Надвижной* мостъ состоитъ изъ рамы, поддержанной колесами, которыя катятся по рельсамъ, и имѣетъ висячую часть, достаточную для покрытія пролета. Когда мостъ наведенъ и для этого выдвинутъ впередъ, то позади его остается на дорогѣ пустота, въ которую должна быть вдвинута другая рама съ мостовымъ полотномъ, откатывающаяся въ бокъ для разведенія моста.

IV. *Поднимающійся* мостъ виситъ на четырехъ цѣпяхъ, которыя прикрѣплены къ угламъ полотна и переходятъ черезъ блоки; на другомъ концѣ каждой цѣпи долженъ быть противовѣсъ.

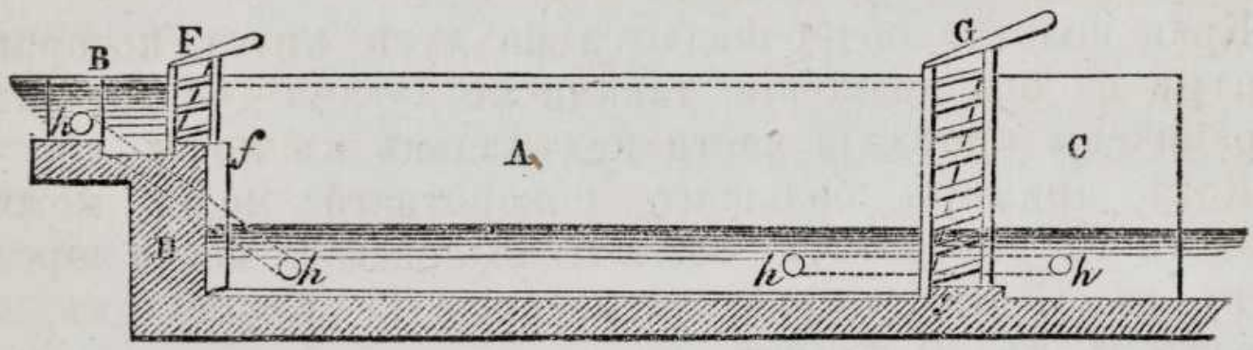
V. *Плавучій* мостъ поддерживается судномъ или плашкоутомъ; его наводятъ и разводятъ помощью цѣпей и воротовъ, и когда онъ разведенъ, то полотно отводится въ выемку, которая сдѣлана въ берегѣ канала.

Плашкоутъ изъ котельнаго желѣза такъ устраивается, чтобъ могъ дѣйствовать какъ ферма, когда мостъ наведенъ.

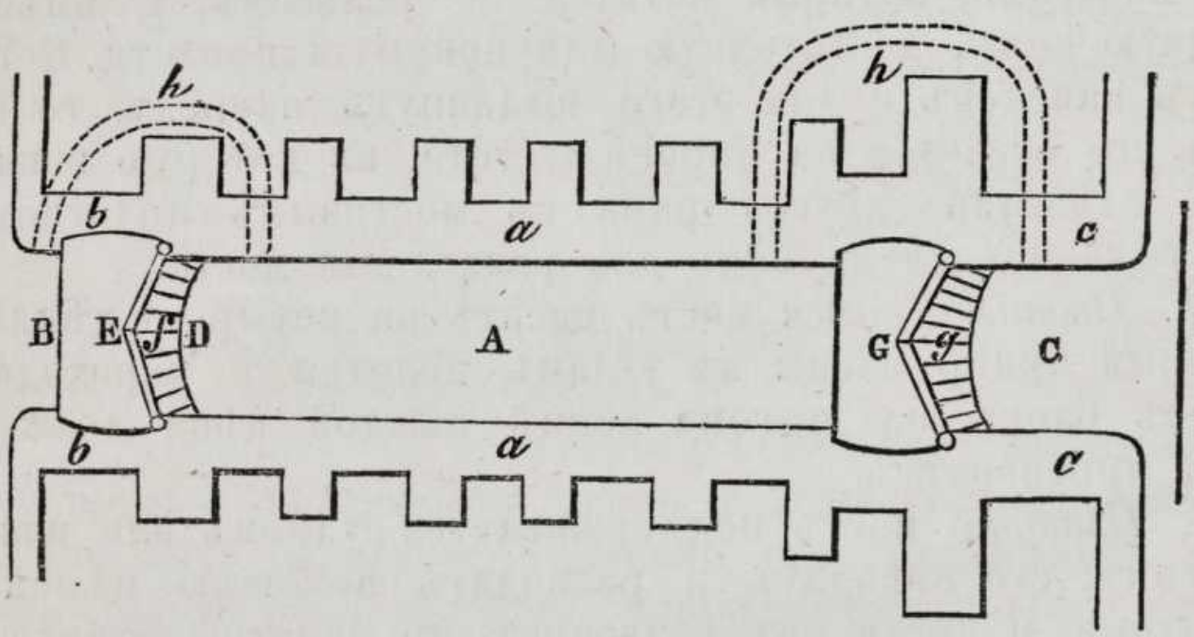
506. Шлюзы въ каналахъ. На чертежахъ 290, 291 и 292 представлено общее расположеніе частей шлюза. Чертежъ 290 есть продольный разрѣзъ, 292 поперечный разрѣзъ, а чертежъ 291 есть планъ шлюза.

A есть шлюзный дворъ или *камера*; *a*, *a* боковыя стѣны; *E* флютбетъ шлюза т. е. горизонтальный полъ или опрокинутый сводъ. Длина шлюзнаго двора должна быть равна по-крайней-мѣрѣ длинѣ наибольшаго судна, ходящаго по каналу съ его рулемъ; ширина въ свѣту должна быть однимъ футомъ болѣе ширины судна; глубина равна наибольшей осадкѣ судовъ, сложенной съ

паденіемъ шлюза и увеличенной $1^1/_2$ футами. Высота стѣны отъ флютбета до карниза можетъ быть на 2 фута болѣе.

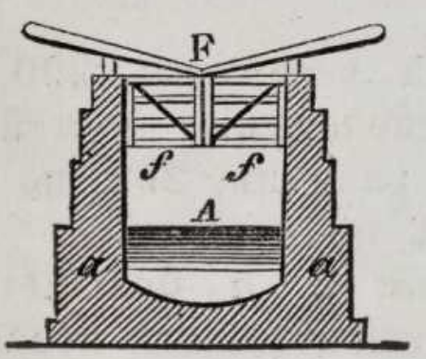


Черт. 290.



Черт. 291.

Въ стѣнахъ сдѣланы *ложи* или углубленія для нижнихъ воротъ; флютбетъ шлюза находится въ одномъ уровнѣ съ дномъ нижняго бьефа канала.



Черт. 292.

B есть верхняя голова шлюза съ ея флютбетомъ и стѣнами, въ которыхъ имѣются ложи для верхнихъ рвротъ. Стѣны шлюза оканчиваются загнутыми крыльями. Полъ въ одномъ уровнѣ съ дномъ верхняго бьефа.

C есть *нижняя голова* шлюза съ ея флютбетомъ и стѣнами. Стѣны оканчиваются загнутыми крыльями, флютбетъ вымощенъ камнемъ на сухо.

D есть *стѣнка паденія*, устраиваемая подобно горизонтальной аркѣ.

F верхнія ворота, упирающіяся нижними брусьями, когда заперты, въ верхній порогъ *f*.

G нижнія ворота, упирающіяся въ нижній порогъ *g*, когда заперты.

Прежде шлюзы наполнялись водою и опоражнивались свкозь отверстія въ воротахъ, закрываемыя щитами; теперь предпочитаютъ дѣлать въ стѣнахъ каменные каналы или желѣзныя трубы съ кранами, или щитами; такія трубы показаны на чертежѣ буквами *h*, *h*.

Изъ тесанаго камня дѣлаются въ шлюзахъ углы, карнизъ, ложи для воротъ, пороги и подпятники т. е. камни, въ которыя упираются пяты вращенія воротъ.

Порогъ одѣваютъ иногда деревомъ со стороны воротъ, частью для лучшаго сопротивленія ударамъ, частью для болѣе плотнаго прилеганія воротъ.

Шлюзной флютбетъ дѣлается иногда изъ чугуна (§ 400).

Ворота дѣлаются изъ дерева или желѣза, главныя ихъ части суть:

Вереяльный столбъ, на которомъ вертятся ворота, онъ обдѣланъ цилиндромъ съ той стороны, которою касается ложа, и прилегаетъ къ нему плотно, когда ворота заперты; но круги, по которымъ очерчены ворота и ложе, не должны быть одноцентренны для того, чтобы вереяльный столбъ не терся о каменную кладку при отпираніи воротъ. Внизу этаго столба есть *стаканъ*, надѣваемый на цилиндрическую пяту, вверху кольцо, *галсбантъ*, обхватываетъ вереяльный столбъ; галсбантъ прикрѣпленъ къ боковой стѣнѣ скобами или якорями, заложенными въ каменную кладку.

Створный брусъ, на другомъ концѣ воротъ; когда они заперты, то створныя брусья двухъ полотенъ прилегаютъ плотно другъ къ другу.

Горизонтальные ригеля суть брусья, помѣщенные между вереяльнымъ столбомъ и створнымъ брусомъ.

Косой ригель есть деревянный брусъ, идущій отъ верха створнаго бруса къ низу вереяльнаго столба, иногда его

замѣняютъ желѣзною струною или помочью, идущею по другой діагонали воротнаго полотна.

Обшивка состоитъ изъ деревянныхъ досокъ или желѣзныхъ листовъ. Доски могутъ идти отвѣсно или наклонно, паралельно косому ригелю.

Ворота, показанныя на чертежахъ, имѣютъ вверху рычаги. Рычагъ прикрѣпленъ къ верху створнаго бруса, идетъ поднимаясь нѣсколько къ верху, покрываетъ вереяльный столбъ, съ которымъ связанъ шипомъ и гнѣздомъ и оканчивается длиннымъ и тяжелымъ свѣшивающимся концомъ: этотъ конецъ служитъ для отпиранія и запиранія воротъ, а также переноситъ центръ тяжести вороть ближе къ вереяльному столбу.

Иногда этого рычага нѣтъ и ворота поддерживаются катками подъ нижнимъ брусомъ; для каждаго катка должна быть вдѣлана въ флютбетъ желѣзная полоса, расположенная по кругу; по ней катокъ идетъ во время движенія воротъ. Этотъ способъ устройства употребляется преимущественно при тяжелыхъ и широкихъ воротахъ, отпираемыхъ при помощи цѣпей и воротовъ.

Вотъ обыкновенные размѣры частей шлюза:

Порогъ возвышается надъ флютбетомъ на 6 или 9 дюймовъ.

Стрѣла порога бываетъ отъ $^1/_7$ до $^1/_5$ ширины шлюза.

Избытокъ ширины ложа надъ толщиною воротъ есть $^1/_{10}$ этой толщины; длина ложи превосходитъ длину воротъ на $^1/_7$ этой длины.

Наименьшая толщина боковыхъ стѣнъ вверху около 4 футъ. Наибольшая толщина стѣны у основанія дѣлается сообразно требованіямъ устойчивости и бываетъ отъ $^1/_4$ до $^1/_2$ высоты стѣны.

Длина боковыхъ стѣнъ въ верхней головѣ шлюза передъ ложами бываетъ въ $^1/_3$ ширины шлюза.

Противъ той части ложъ, гдѣ находятся вереяльные столбы, выводятся сильные контфорсы для сопротивленія *поперечному распору* воротъ.

Продольный распоръ верхнихъ воротъ передается боковымъ стѣнамъ шлюзнаго двора; распоръ нижнихъ воротъ боковымъ стѣнамъ нижней головы шлюза. Для того чтобъ эти стѣны имѣли достаточную устойчивость, длину ихъ

опредѣляютъ по слѣдующему правилу: длина стѣны въ футахъ равна ширинѣ шлюза, умноженной на наибольшую глубину воды и раздѣленной на 15.

Стѣнка паденія имѣетъ стрѣлу отъ $^1/_{12}$ до $^1/_7$ ширины шлюза.

Толщина флютбета въ головѣ шлюза отъ 10 до 14 дюймовъ.

Флютбетъ шлюзнаго двора, устроенный обратнымъ сводомъ имѣетъ стрѣлу въ $^1/_{15}$ ширины шлюза, а толщина свода можетъ быть отъ $^1/_{15}$ до $^1/_3$ ширины шлюза смотря по роду основанія.

О разнаго рода основаніяхъ говорено было довольно подробно. Дополнимъ прежнія свѣденія только тѣмъ, что при устройствѣ шлюза на деревянномъ ростверкѣ не должно класть продольныхъ брусьевъ во всю длину шлюза, потому что вдоль ихъ можетъ проникать вода; что поперечные ровики наполненные бетономъ представляютъ хорошее средство противъ просасываній воды; и что при скважистой почвѣ надобно наполнить бетономъ все пространство позади стѣнки паденія и подъ флютбетомъ верхней голоны шлюза.

Длина сливнаго пола дѣлается отъ 15 до 30 футъ.

Размѣры частей воротныхъ полотенъ должны быть расчитаны сообразно крѣпкости матеріаловъ: въ существующихъ шлюзныхъ воротахъ коефиціентомъ блогонадежности приняты довольно малыя числа, какъ напримѣръ 3 и 4, и этого достаточно по причинѣ совершеннаго постоянства дѣйствующихъ силъ

507. Наклонныя плоскости въ каналахъ. Для избѣжанія потери времени и воды на проводъ судовъ сквозь шлюзы, на нѣкоторыхъ каналахъ устроены наклонныя плоскости. Общее устройство ихъ есть слѣдующее: въ верхнемъ и нижнемъ бьефѣ канала у мѣста ихъ соединенія наклонною плоскостью сдѣланы въ днѣ углубленія для того чтобы можно было подводить подъ суда желѣзные, непроницаемые для воды, ящики или подвижные танки. Два параллельныхъ между собою желѣзныхъ пути идутъ отъ дна нижняго бьефа по наклонной плоскости до ея вершины, возвышающейся нѣсколько надъ уровнемъ верхняго бьефа, и отсюда идетъ другая наклонная плос-

кость, короче первой, ко дну верхняго бьефа. Ящики или кессоны двигаются на колесахъ и имѣютъ достаточно воды для того, чтобы поднять судно; каждый изъ ящиковъ ходитъ по особому пути и они такъ между собою связаны посредствомъ цѣпи или проволочнаго каната, переходящаго черезъ блокъ, что когда одинъ ящикъ поднимается, тогда другой опускается. Эти ящики взаимно другъ друга уравновѣшиваютъ, когда оба находятся на длинной наклонной плоскости, потому что суда съ грузомъ или налегкѣ вытѣсняютъ только количество воды, равное ихъ вѣсу; только весьма короткое время, именно когда верхній ящикъ выходитъ изъ воды, а нижній приходитъ къ дну, нѣтъ равновѣсія и тутъ только нужно употребить паровую силу, прилагаемую къ блоку или барабану, какъ на наклонныхъ плоскостяхъ желѣзныхъ дорогъ. Такое устройство употреблено на Монкландскомъ каналѣ близь Глазгоу.

Суда можно поднимать на станкахъ съ колесами, неупотребляя ящиковъ; но при этомъ больше расходуется силы. Г. Грегемъ предлагаетъ замѣнить употребленіе постоянной машины на вершинѣ наклонной плоскости, въ случаѣ пароваго судоходства по каналу, установкою на пароходѣ ворота, приводимаго въ движеніе тою-же паровою машиною. Когда пароходъ подошелъ къ основанію наклонной плоскости и утвержденъ на станкѣ, тогда къ вороту кладется нижній конецъ каната, котораго верхній конецъ укрѣпленъ вверху наклонной плоскости; пароходъ, приведя въ движеніе воротъ, поднимается тогда по плоскости.

На нѣкоторыхъ каналахъ существуетъ отвѣсный подъемъ судовъ при помощи ящиковъ, вмѣсто наклонныхъ плоскостей.

508. Снабженіе каналовъ водою производится изъ водохранилищъ, куда собираютъ воду изъ бассейновъ, рѣкъ и источниковъ; и это снабженіе учреждается на основаніи тѣхъ-же изысканій о количествѣ дождя, запросѣ на воду и т. п., которые были изложены въ главѣ II этой части.

Расходъ воды въ каналѣ опредѣляется слѣдующимъ образомъ:

I. *Потеря* воды просасываніемъ въ грунтъ и испареніемъ бываетъ въ день равна почти площади поверхности канала, умноженной на $^1/_6$ фута.

II. *Теченіемъ* уносится изъ верхняго бьефа въ нижній сквозь щели воротъ въ день отъ 10,000 до 20,000 кубическихъ футъ.

III. *Проводъ* судовъ изъ одного бьефа въ другой требуетъ количества воды, опредѣляемаго слѣдующимъ образомъ:

Пусть L означаетъ объемъ *сливной призмы* т. е. количество воды, заключающейся въ шлюзномъ дворѣ между уровнемъ верхняго и нижняго бьефа. B количество воды вытѣсняемой однимъ судномъ.

Количества воды, расходуемыя изъ верхняго бьефа при однокамерномъ или многокамерныхъ шлюзахъ и при разныхъ обстоятельствахъ показаны въ слѣдующей таблицѣ. Знакъ — передъ какимъ-нибудь объемомъ показываетъ, что онъ вытѣсняется изъ шлюзнаго двора въ верхній бьефъ.

Однокамерный шлюзъ.	Состояніе шлюзнаго двора при входѣ судна	Расходъ воды.	Состояніе шлюзнаго двора при выходѣ судна.
Одно спускающееся судно	пустой	L—B	пустой
	полный	—B	
Одно поднимающееся судно	пустой или полный	L+B	полный
2 n судовъ поочередно спускающихся и поднимающихся	при спускѣ полный, при подъемѣ пустой	n L	при спускѣ пустой, при подъемѣ полный.
Рядъ n судовъ спускающихся	пустой	n L—n B	пустой.
	полный	(n—1) L—n B	
Рядъ n судовъ поднимающихся	пустой или полный	n L+n B	полный.
Два ряда, каждый въ n судовъ одинъ спускается другой поднимается	полный	(2n—1) L	полный.
Многокамерный шлюзъ, число камеръ m.			
Одно спускающееся судно	пустой	L—B	пустой.
	полный	—B	

Одно поднимающееся суд о	пустой	m L+B	полный.
	полный	L+B	
2 n судовъ поочередно спускающихся и поднимающихся	при спускѣ полный, при подъемѣ пустой	mn L	при спускѣ пустой, при подъемѣ полный.
Рядъ n судовъ спускающихся	пустой	n L—n B	пустой.
	полный	(n—1) L—n B	
Рядъ n судовъ поднимающихся	пустой	(m+n—1)L+nB	полный.
	полный	n L+n B	
Два ряда, каждый въ n судовъ одинъ спускается другой поднимается	полный	(m+2n—2) L	полный.

Изъ этихъ расчетовъ видно что, какъ было сказано, при однокамерныхъ шлюзахъ расходуется меньше воды, нежели при многокамерныхъ; что въ однокамерномъ шлюзѣ меньше тратится воды когда суда поочередно спускаются и поднимаются нежели тогда, когда суда идутъ караванами, изъ которыхъ одинъ спускается а другой поднимается; что напротивъ того при многокамерномъ шлюзѣ караваны судовъ менѣе требуютъ воды нежели одиночныя суда, проходящія поочередно. Поэтому когда постройка многокамернаго шлюза неизбѣжна, то его дѣлаютъ двойнымъ; по одной половинѣ суда поднимаются, а по другой спускаются.

Можно уменьшить потерю воды въ многокамерномъ шлюзѣ постройкою боковыхъ водохранилищъ, которыя назначаются для удержанія на позднѣйшее употребленіе нѣкоторой части воды, выходящей изъ шлюзной камеры, когда ниже лежащія камеры полны: безъ этихъ боковыхъ водохранилищъ вся вода вылилась-бы въ нижній бьефъ. Пусть a есть горизонтальная площадь шлюзной камеры, A площадь боковаго водохранилища; количество сберегаемой воды есть

$$L\ A : (A + a.).$$

ОТДѢЛЪ II. РѢЧНОЕ СУДОХОДСТВО.

509. Свободная рѣка есть такая, въ которой вода имѣетъ непрерывный уклонъ, непересѣкаемый запрудами

Насчетъ этихъ рѣкъ почти нечего прибавлять къ тому, что сказано о нихъ въ §§ 467 — 471. Бечевникъ, устраиваемый на ихъ берегахъ, такой-же какъ и при каналахъ.

Дѣйствіе теченія на величину груза, который можетъ тащить лошадь противъ теченія можетъ быть приблизительно выражено формулою:

$$P^1 = P \times \left(\frac{3.6}{3.6 + v}\right)^2$$

въ которой P^1 есть грузъ, влекомый противъ теченія, P грузъ въ стоячей водѣ, v скорость теченія въ футахъ на секунду.

Разсмотрѣніе законовъ движенія судовъ парами и на парусахъ выходитъ изъ предѣловъ этого сочиненія.

510. Канализованная рѣка раздѣлена запрудами на плесы или бьефы, имѣющіе большую глубину и меньшую скорость, нежели рѣка въ естественномъ своемъ состояніи. О постройкѣ запрудъ и ихъ вліяніи говорено было въ § 472.

Въ каждой запрудѣ долженъ быть устроенъ шлюзъ для прохода судовъ; лучшее мѣсто для шлюза есть конецъ запруды у того берега, гдѣ проходитъ бечевникъ. Рѣчные шлюзы отличаются отъ устраиваемыхъ въ каналахъ тѣмъ, что не имѣютъ стѣнки паденія и потому верхнія и нижнія ворота одной высоты.

511. Подвижные мосты черезъ рѣки строятся на тѣхъ-же началахъ, какъ и черезъ каналы и отличаются отъ нихъ только большими размѣрами.

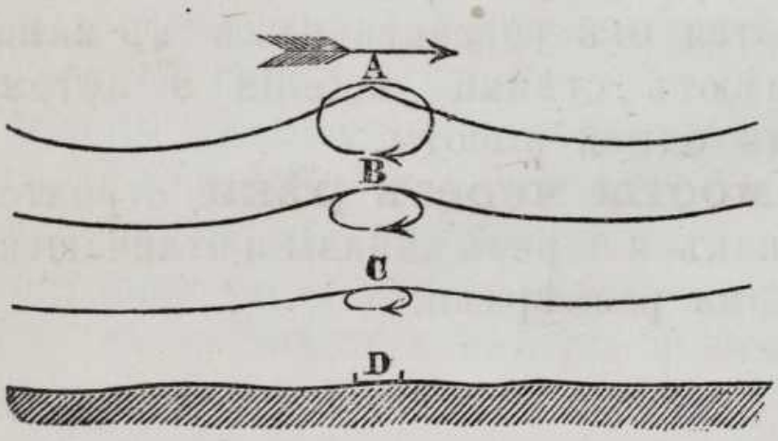
ГЛАВА IV.

МОРСКІЯ СООРУЖЕНІЯ.

ОТДѢЛЪ I. ВОЛНЫ И ПРИЛИВЫ.

512. Движеніе обыкновенныхъ волнъ. Излагаемая здѣсь теорія движенія волнъ основана преимущественно на теоретическихъ изслѣдованіяхъ Г. Эри, подтверждаемыхъ наблюденіями гг. Уебера и Скотта Росселя, и нѣсколько дополнена выводами изъ позднѣйшихъ изслѣдованій.

Обыкновенныя волны распространяются по водѣ горизонтально; движеніе каждой частицы воды происходитъ въ отвѣсной плоскости параллельной направленію распространенія; путь или орбита, описанная каждою частицею есть приблизительно элипсъ (чер. 293); при однообразной глубинѣ большая ось элиптической орбиты горизонтальна, а малая отвѣсна; центръ элипса находится немного выше той точки, которую занимаетъ частица при спокойномъ состояніи; когда частица проходитъ верхнюю часть своей орбиты, то она движется впередъ по направленію распространенія волнъ, въ нижней части орбиты движется она назадъ, какъ это показано элиптическими стрѣлками на чертежѣ 293, гдѣ прямая стрѣла есть направленіе распространенія волнъ.



Черт. 293.

Частицы у поверхности описываютъ самыя большія орбиты; по мѣрѣ пониженія частицъ орбиты ихъ путей уменьшаются и при томъ въ отвѣсномъ направленіи быстрѣе нежели въ горизонтальномъ, такъ что чѣмъ глубже частица, тѣмъ проходимая ею орбита площе, какъ видно на чертежѣ въ *A*, *B* и *C*; у самаго дна происходитъ движеніе по прямой линіи взадъ и впередъ, какъ показано въ *D*.

При значительной глубинѣ сравнительно съ длиною волны, которая считается отъ одного гребня до другого, орбиты верхнихъ частицъ суть круги, а у дна движенія почти нѣтъ.

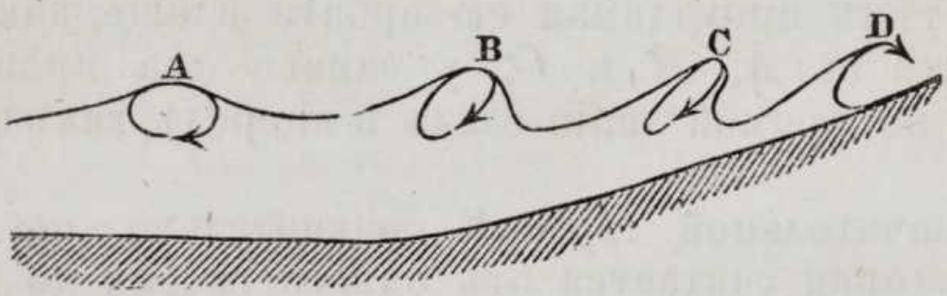
Періодомъ волны называется время, употребляемое каждою частицею на проходъ своей орбиты и равное времени, употребляемому волною на проходъ пространства равнаго ея длинѣ. Изъ этого слѣдуетъ, что средняя скорость движенія частицы воды относится къ скорости волны какъ длина орбиты, описываемой частицею, къ длинѣ волны.

Скорость волнъ зависитъ главнѣйше отъ ихъ длины и отъ глубины воды и бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ волны длиннѣе и глубина больше. Когда глубина воды превосходитъ длину волны, тогда скорость не измѣняется замѣтнымъ образомъ вмѣстѣ съ глубиною и большею частью равна скорости, пріобрѣтаемой тѣломъ, падающимъ съ высоты, равной полурадіусу круга, котораго окружность есть длина волны. Въ очень мелкой водѣ, по сравненію съ длиною волнъ, скорость почти независима отъ длины, и почти равна скорости пріобрѣтаемой тѣломъ, падающимъ съ высоты, которая равна половинѣ глубины воды, увеличенной тремя четвертями высоты волны.

Два или болѣе рядовъ волнъ, движущихся въ одномъ, различныхъ или противоположныхъ направленіяхъ, могутъ распространяться одновременно въ одной и той-же массѣ воды, и движеніе каждой частицы будетъ равнодѣйствующее различныхъ движеній, которыя каждый рядъ волнъ сообщилъ-бы ей, если-бы дѣйствовалъ отдѣльно.

Когда рядъ волнъ распространяется въ водѣ, которая становится постепенно мельче, тогда періодъ волны остается тотъ-же; скорость, а вмѣстѣ съ тѣмъ и длина

волны уменьшаются, и откосъ волнъ становится круче. Орбиты, описываемыя частицами воды перекашиваются, какъ видно на чертежѣ 294 въ *B*, *C*, *D*; передній откосъ

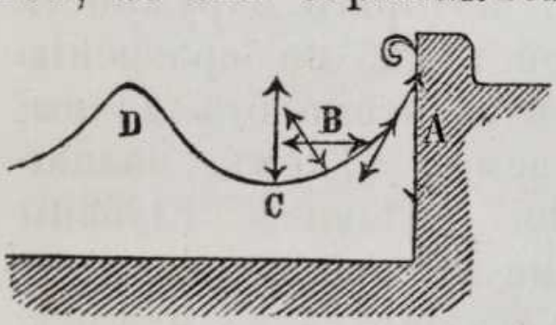


Черт. 294.

волны круче задняго, такъ что кажется будто гребень двигается быстрѣе подошвы. Наконецъ гребень волны загибается вверху за отвѣсную линію, падаетъ впередъ и производитъ пѣну, свойственную бурунамъ

Такъ какъ количество движенія волны, подвигающейся въ постепенно мельчающей или съуживающейся водѣ, остается одно и тоже, то оно должно приводить эту воду въ болѣе сильное волненіе, что и бываетъ иногда въ самомъ дѣлѣ; иногда же это стремленіе встрѣчаетъ противодѣйствіе и сила волненія тратится на произведеніе водоворотовъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ есть внезапное увеличеніе глубины, и на треніе объ дно.

Когда волны встрѣчаютъ отвѣсную стѣну, какъ на черт. 295, то онѣ отражаются и частицы воды на нѣкоторомъ



Черт. 295.

разстояніи передъ стѣною имѣютъ сложныя движенія, составленныя изъ принадлежащихъ прямымъ и отраженнымъ волнамъ Частицы, находящіяся въ прикосновеніи со стѣною въ *A*, двигаются вверхъ и внизъ на высотѣ, равной удвоенной первоначальной высотѣ волнъ, также движутся и частицы *C* на разстояніи отъ стѣны, равномъ половинѣ длины волны; на разстояніи четверти волны, въ *B*, движеніе есть горизонтальное взадъ и впередъ, а промежуточныя частицы колеблются въ направленіяхъ, имѣющихъ разные углы наклоненія.

Для того, чтобы какая нибудь поверхность отражала

волны, нѣтъ никакой надобности ей быть отвѣсною; по мнѣнію Г. Скотта Росселя, отраженіе происходитъ и при углѣ наклоненія въ 45°.

Отвѣсная и крутонаклоненная поверхность, вся покрытая водою, отражаетъ волнистое движеніе тѣхъ слоевъ воды, которые находятся ниже ея гребня; по этому подводный камень или волнорѣзъ, хотя и покрытый значительною толщею воды, разбиваетъ волны и уменьшаетъ ихъ силу.

Наибольшая *длина волнъ* въ океанѣ считается около 500 футъ, что соотвѣтствуетъ скорости почти 50 футъ въ секунду и періоду въ 10 секундъ. Наибольшая *высота* волнъ по Скорезби есть 30 футъ, слѣдовательно скорость движенія частицъ воды по ихъ орбитамъ есть 10 футъ въ секунду.

Въ моряхъ и озерахъ волны ниже и короче и не такъ быстро движутся; по Г. Скотту Росселю въ мелкой водѣ однообразной глубины высота волнъ никогда не превосходитъ глубины воды въ спокойномъ состояніи. Но вслѣдствіе сосредоточенія силы волненія въ малой массѣ воды, случающагося возлѣ усѣянныхъ подводными камнями береговъ (шхеры), происходятъ волны гораздо большія нежели глубина воды.

Давленіе волнъ на отвѣсную поверхность по наблюденіямъ у Скериворскаго маяка, произведеннымъ Г. Аланомъ Стивенсономъ, доходитъ до

	Среднее лѣтомъ	Среднее зимою.	Въ бурю.
Въ пудахъ на кв. дюймъ.	0.1175	0.4011	1.1697
Въ футахъ воды	9.8	33.4	97.5.

Наибольшая высота прибоя, замѣченная графомъ Донравеномъ на юго-западномъ берегу Ирландіи, есть 150 футъ.

Новѣйшія теоретическія изслѣдованія приводятъ къ заключенію, подтверждаемому наблюденіями, что каждая волна имѣетъ болѣе или менѣе поступательное движеніе, она осаждаетъ каждую частицу воды или вещества, ею поднятую, нѣсколько далѣе того мѣста, гдѣ она ее подняла: вотъ отчего происходитъ то скопленіе воды которое

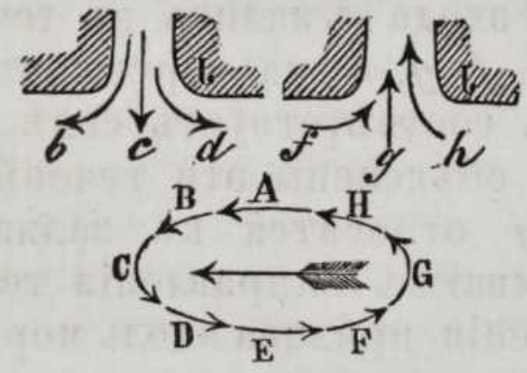
бываетъ у подвѣтренныхъ береговъ во время бурь. Это свойство воды объясняетъ фактъ, что волненіе подмываетъ и разрушаетъ отвѣсныя скалы, и собираетъ песокъ, гравій и вообще тѣ вещества, которыя можетъ поднять, на плоскомъ, отлогомъ берегу, къ которому идетъ волна; волна уноситъ эти матеріалы въ заливы и бухты; когда волна имѣетъ направленіе наклонное къ берегу, то въ томъ же направленіи движутся и разныя вещества, находящіяся на днѣ.

513. Приливъ есть движеніе воды, отвѣсное вверхъ и внизъ и горизонтальное впередъ и назадъ, котораго средняя продолжительность равна половинѣ луннаго дня или 12,4 часа; приливъ переходитъ въ морѣ отъ одного мѣста къ другому подобно длиннымъ и скорымъ волнамъ, которыхъ горизонтальное движеніе гораздо значительнѣе, нежели отвѣсное. Оба эти движенія, какъ горизонтальное такъ и отвѣсное, подвержены между высокой и низкой водой измѣненіямъ, которыхъ періодъ равенъ половинѣ луннаго мѣсяца, и другимъ измѣненіямъ, которыхъ періоды бываютъ въ цѣлый мѣсяцъ или въ полгода. Приливныя волны уменьшаются и уклоняются въ постепенно мелчающей водѣ, и гребни ихъ стремятся принять направленіе, паралельное тому берегу, къ которому онѣ приближаются.

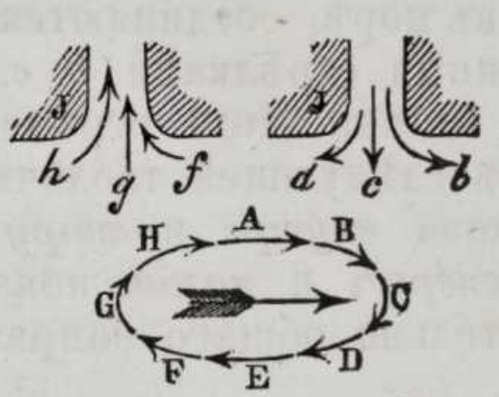
Приливы въ узкихъ водахъ и вообще близъ земли измѣняются отъ встрѣчь съ волнами, имѣющими разныя направленія и потому движеніе ихъ становится очень сложнымъ: здѣсь будутъ разсмотрѣны только простѣйшіе случаи.

514. Приливы въ свободныхъ и глубокихъ руслахъ подобны простымъ волнамъ, представленнымъ на чертежѣ 293, съ тѣмъ только различіемъ, что по причинѣ огромной длины волнъ сравнительно съ глубиною воды, величина движенія въ горизонтальномъ направленіи почти одна и таже при всякой глубинѣ, а величина отвѣснаго движенія каждаго слоя находится почти въ простой пропорціональности съ его возвышеніемъ надъ днемъ Орбита, описываемая каждою частицею есть очень длинный и плоскій элипсъ.

Положимъ, что такое русло имѣетъ съ одной стороны берегъ съ умѣренно крутымъ уклономъ, а въ другихъ мѣстахъ однообразную глубину; частицы воды близь такаго берега будутъ двигаться по элипсамъ, въ плоскостяхъ наклонныхъ, почти параллельныхъ этому берегу, какъ показано въ планѣ на чер. 296 и 297. Въ этихъ черте-



Черт. 296.



Черт. 297.

жахъ берегъ предполагается вверху; въ 296 онъ находится по правую сторону направленія, по которому идетъ приливная волна и которое показано прямой стрѣлкой; въ 297 берегъ находится на лѣво. Движенія каждой частицы воды во время прилива и отлива показаны въ слѣдующей таблицѣ.

Лунные часы, считаемые отъ прикладного.	Названіе времени.	Направленіе теченія.	Ссылка на чертежъ.
0	Приливъ	Впередъ	A
1½	Четверть отлива	Впередъ, къ морю	B
3	Полъ отлива	Къ морю	C
4½	Три четверти отлива	Назадъ, къ морю	D
6	Отливъ	Назадъ	E
7½	Четверть прилива	Назадъ, къ берегу	F
9	Полъ прилива	Къ берегу	G
10½	Три четверти прилива	Впередъ, къ берегу	H
12	Приливъ	Впередъ	A

515. Приливъ въ короткомъ заливѣ или бухтѣ такихъ размѣровъ, что возвышеніе или пониженіе уровня въ всѣхъ его частяхъ происходитъ почти одновременно, имѣетъ сходство съ возвышеніемъ и пониженіемъ воды около крутой стѣны (чер. 295) или съ наполненіемъ и опоражниваніемъ резервуара. Каждая частица воды вхо-

дитъ въ заливъ во время прилива и выходитъ при отливѣ; теченіе бываетъ быстрѣе и сильнѣе когда глубина больше, т. е. во время второй половины прилива и первой половины отлива.

Если входъ въ такой заливъ расположенъ перпендикулярно къ общему направленію морскаго берега, то приливныя теченія залива, въ соединеніи съ общимъ теченіемъ въ морѣ, соединяются у входа въ заливъ въ теченія, означенныя стрѣлками *b*, *c*, *d*, *f*, *g*, *h* на чертежахъ 296 и 297; длина этихъ стрѣлокъ соотвѣтствуетъ силѣ теченій. Въ слѣдующей табличкѣ объяснены эти теченія: въ ней слова *внутрь* и *внаружу* относятся къ заливу, а слова *впередъ* и *назадъ* показываютъ направленія теченій относительно общаго направленія прилива вдоль морскаго берега.

Лунные часы, считаемые отъ прикладного.		Названіе времени.	Теченіе.	Ссылка на чертежи.	
Первая половина отлива	0	Приливъ	0 (стоячая вода)	—	
	1½	Четверть отлива	Внаружу, съ поворотомъ впередъ	*b*	сильно.
	3	Полъ отлива	Внаружу	*c*	
Вторая половина отлива.	4½	Три четверти отлива	Внаружу съ поворотомъ назадъ	*d*	слабо.
	6	Отливъ	0 (стоячая вода)	—	
Первая половина прилива.	7½	Четверть прилива	Назадъ съ поворотомъ внутрь	*f*	слабо.
	9	Полъ прилива	Внутрь	*g*	сильно.
Вторая половина прилива.	10½	Три четверти прилива	Впередъ съ поворотомъ внутрь	*h*	
	12	Приливъ	0 (стоячая вода)	—	

Въ каждомъ чертежѣ буква *J* означаетъ верховой уголъ входа въ заливъ относительно направленія прилива.

Количество воды, входящей въ короткій заливъ и выходящей изъ него, равно объему, заключающемуся между уровнями высокой и низкой воды и опредѣляется нивелированіемъ и по футштоку. Средняя скорость теченія у входа въ заливъ равна этому объему, раздѣленному на площадь сѣченія у входа въ заливъ и на время прибыли или убыли; наибольшая скорость равна средней умноженной на 1.57. Такаго рода расчетъ можно дѣлать только для опредѣленія вѣроятныхъ дѣйствій прибыли и убыли воды;

скорость-же дѣйствительныхъ теченій должна быть опредѣляема посредствомъ наблюденій.

516. Приливы въ длинныхъ заливахъ состоятъ изъ простыхъ теченій, наполняющихъ и опоражнивающихъ его, какъ короткій заливъ, и изъ ряда побочныхъ приливныхъ волнъ, простирающихся вверхъ по руслу отъ волнъ открытаго моря. Въ рѣчныхъ руслахъ поочередныя теченія прилива и отлива терпятъ измѣненія отъ теченія воды въ рѣкѣ.

Приливная волна, распространяющаяся вверхъ по длинному заливу или по руслу рѣки, подобна представленной на чертежѣ 294 волнѣ, идущей на отлогій берегъ. Она уменьшается въ длинѣ и увеличивается въ высотѣ до того предѣла, при которомъ треніе прекращаетъ ея возрастаніе въ высотѣ; передъ ея становится круче и короче, а задъ длиннѣе и отложе; говоря иначе, возвышеніе воды продолжается кратчайшее время, а паденіе ея должайшее по мѣрѣ движенія прилива вверхъ по руслу. Когда высокая приливная волна подвигается въ очень мелкой водѣ, тогда ея передъ очень часто укорачивается и становится круче до того, что гребень загибается подобно прибойной волнѣ D, на чертежѣ 294, и продолжаетъ подвигаться въ видѣ пѣнистаго гребня, за которымъ слѣдуетъ очень длинный и плоскій откосъ. Этотъ откосъ дѣлится иногда на двѣ или на три меньшія волны и тогда убыль воды перерывается короткими промежутками прибыли.

Чтобы узнать вычисленіемъ скорость теченій прилива и отлива въ данномъ сѣченіи русла рѣки или длиннаго залива, надобно составить два продольныхъ сѣченія поверхности воды по двумъ рядамъ наблюденій футштоковъ, сдѣланнымъ у нѣсколькихъ точекъ русла выше даннаго мѣста въ тѣ два мгновенія, которыя соотвѣтствуютъ наибольшей и наименьшей высотѣ воды въ данномъ мѣстѣ.

Объемъ, заключающійся между двумя опредѣленными такимъ образомъ поверхностями, будетъ равенъ объему воды, вливающейся въ заливъ и изъ него выливающейся сквозь данное поперечное сѣченіе русла; объемъ этотъ должно раздѣлить на продолжи-

тельность прилива или отлива и на площадь сѣченія и тогда получится средняя скорость теченія, которая по умноженіи на 1.57 дастъ приблизительно вѣроятную наибольшую скорость. Скорость теченія рѣчной воды, если она есть, должна быть вычтена изъ скорости прилива и придана къ скорости отлива. Замѣчаніе, сдѣланное въ концѣ предъидущаго параграфа, относится и къ этому.

Приливныя волны въ рѣкахъ распространяются вверхъ по уклону потока и дѣйствуютъ на него очень часто въ точкахъ, которыя выше уровня высокой воды моря.

517. Дѣйствіе приливовъ на берега и русла. Прибывающая вода увеличиваетъ, а убывающая уменьшаетъ скорость и силу волнъ шторма; это составляетъ причину замѣченнаго факта, что сильнѣйшее дѣйствіе этихъ волнъ на берега бываетъ въ половинѣ прилива, когда теченіе къ берегу бываетъ сильнѣе. Приливныя теченія несутъ съ собою илъ, грязь, песокъ, гравій и другія вещества по тѣмъ-же законамъ, какъ и рѣчныя теченія, о чемъ было говорено въ § 468; по этому убывающая вода прилива стремится очищать и углублять заливы, а прибывающая вода ихъ заноситъ. Изъ того, что было сказано въ предъидущемъ параграфѣ видно, что въ мелкой водѣ прибыль стремится сдѣлаться быстрѣе и потому сильнѣе въ своемъ дѣйствіи, нежели убывающая вода, если не встрѣчаетъ сопротивленія въ теченіи рѣчной воды; отсюда превозмогающее стремленіе приливовъ, подобно волнамъ, затягивать и засорять заливы и устья рѣкъ особенно, если они мелки сами по себѣ.

Сильное теченіе рѣчной воды можетъ поддерживать большую глубину на перекоръ этому дѣйствію моря, на сколько это позволяетъ ширина русла; но когда это теченіе выходитъ въ открытое море и ослабляется распространеніемъ въ стороны или когда его дѣйствіе на дно уничтожается тѣмъ, что прѣсная вода идетъ поверхъ соленой морской воды, тогда дѣйствіемъ волнъ и приливовъ образуется *баръ*.

При устройствѣ порта инженеръ долженъ такъ направить и измѣнить дѣйствіе приливныхъ теченій, чтобы

скорость отлива была сильнѣе скорости прилива и чтобы теченія очищали заливы и уничтожали бары.

ОТДѢЛЪ II. ЗАЩИТА МОРСКИХЪ БЕРЕГОВЪ.

518. Буны, идущіе подъ прямыми углами къ берегу устраиваются также какъ буны въ рѣкахъ (§ 469) но прочнѣе. Онѣ не только останавливаютъ движеніе вдоль берега веществъ, переносимыхъ наклонными волнами или теченіями прибывающей воды, но также вызываютъ постоянное осажденіе этихъ веществъ; и если ихъ постепенно выдвигать въ море по мелкой водѣ, то берегъ подвигается впередъ. Когда пространства между бунами будутъ наполнены, тогда наносы, обходя концы бунъ, будутъ двигаться прежнимъ порядкомъ.

Буны принадлежатъ къ числу лучшихъ средствъ защиты скалъ, береговъ и набережныхъ стѣнъ отъ подмывовъ со стороны моря.

519. Земляная дамба или плотина имѣетъ со стороны моря пологій откосъ отъ 3 и до 12 основаній на 1 высоту. Верхъ ея горизонталенъ и по немъ очень часто идетъ дорога: обыкновенно ее возвышаютъ на 6 футъ надъ самыми высокими водами прилива; если можно, то должно даже возвысить ее надъ гребнями волнъ. Задній или береговой откосъ дамбы можетъ быть отъ $1\frac{1}{2}$ до 3 основаній на 1 высоту и у подошвы его должна быть осушительная канава, устроенная на началахъ, которыя изложены въ §§ 483 и 484.

Ядромъ дамбы должна служить отвѣсная фашинная стѣна, подобная фашинному укрѣпленію рѣчнаго берега (§ 469). Фашины могутъ быть связаны изъ ивовыхъ вѣтвей или изъ тростника. Береговой откосъ долженъ быть одѣтъ фашинами. Когда вершина дамбы возвышается надъ волнами, тогда задній откосъ можетъ быть одѣтъ торфомъ; если волны иногда перекатываются черезъ дамбу, то нужно укрѣпить камнемъ вершину ея и задній откосъ.

520. Каменные болверки хорошо сопротивляются дѣйствію волнъ при очень пологомъ или очень крутомъ откосѣ. Они бываютъ двухъ родовъ: съ длиннымъ поло-

гимъ откосомъ, о который волны разбиваются, какъ показано на чертежѣ 294, или съ крутымъ лицомъ, отъ котораго волны отражаются, какъ на чертежѣ 295.

I. *Пологій откосъ* каменнго болверка стѣны имѣетъ уклонъ отъ 3 до 10 основаній на 1 высоту. Ядро или внутренность его можетъ быть изъ земли, песку или щебня, смотря по обстоятельствамъ; съ лица-же онъ одѣвается крупными камнями такой величины, чтобы они могли своимъ вѣсомъ сопротивляться поднимающему ихъ дѣйствію волнъ; относительно этого смотрите § 412. Подошва откоса можетъ быть закруглена нѣсколько вверхъ, подобно рѣчной запрудѣ, для сопротивленія подмывамъ отъ возвратныхъ теченій или буруновъ (§ 472).

Для того, чтобы буруны не поднимались до вершины болверка или не перекатывались черезъ него, верхнюю часть откоса строятъ иногда по кривой такъ, чтобы болверкъ представлялъ морю вогнутую поверхность; но выступающая за отвѣсную линію часть можетъ быть сбита ударами волнъ, поэтому лучше вывести откосъ подъ одну плоскость, у вершины которой устроить горизонтальную берму или уступъ, вымощенный крупными камнями, и на этомъ уступѣ построить крѣпкій парапетъ, на столько удаленный отъ гребня откоса, чтобы вершина его была ниже продолженія плоскости откоса. Рядъ горизонтальныхъ уступовъ, перемежающихся съ откосами въ 3 основанія на 1 высоту такой-же длины, какъ и уступы, очень хорошо разбиваетъ волны и уменьшаетъ ихъ силу; камни у ребръ уступовъ должны быть крупнѣе, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ.

Самые большіе камни надобно помѣщать близь уровня половины прилива, потому что тутъ бываютъ самыя сильныя волны.

Когда пологій каменный болверкъ устраивается на большой глубинѣ, тогда часть его ниже самой низкой воды можетъ быть круче верхней части, потому что менѣе подвержена дѣйствію волнъ: можно сдѣлать его внизу напримѣръ въ 3, а вверху въ 10 основаній на 1 высоту. Волны будутъ частью разбиваться и нѣсколько терять силу при проходѣ той точки, въ которой происходитъ перемѣна уклона.

II. *Крутой каменный болверкъ* или *морская стѣна*

должна быть расчитана подобно стѣнѣ водохранилища (§ 465). Объ томъ какъ отражаются волны, говорено въ § 512. Карнизъ ея долженъ возвышаться надъ гребнемъ самыхъ высокихъ волнъ, имѣющихъ увеличенную высоту отъ дѣйствія отраженія; если-же это невозможно, то карнизъ надобно сдѣлать изъ очень тяжелыхъ камней, которыхъ вода не могла-бы поднимать давленіемъ, соотвѣтствующимъ возвышенію волны надъ ея подошвою, и которые были-бы связаны желѣзомъ съ сосѣдними камнями. Карнизъ этотъ долженъ быть закругленъ для отбрасыванія гребней волнъ назадъ. Остальная часть стѣны можетъ имѣть съ лица тесаные камни съ забуткою изъ мелкихъ камней или бетона; все должно быть выведено на гидравлическомъ растворѣ, а лицевые швы должны быть наполнены цементомъ (§ 248). Главную опасность, которой подвергается отвѣсная стѣна есть прониканіе въ швы воды, которая давленіемъ своимъ или упругостью причиняетъ выскакиваніе камней послѣ удара волны.

Подмывающее дѣйствіе волнъ у подошвы отвѣсныхъ стѣнъ бываетъ очень сильно и ему противоставляютъ *горизонтальную* каменную одежду, которая не должна быть ничѣмъ связана со стѣною, и рядомъ бунъ.

Это подмывающее дѣйствіе волнъ можетъ быть иногда уменьшено устройствомъ лица стѣны ступенями, которыя прерывали-бы отвѣсное паденіе воды. Камни горизонтальной одежды дна, поднятые водою, падаютъ на прежнія свои мѣста или близь нихъ, когда есть буны, которыя не позволяютъ имъ двигаться вдоль стѣнъ. При наклонной одеждѣ камни, поднятые водою, скатываются къ нижнему ея краю.

Когда позади каменной стѣны имѣется земляная насыпь, то съ другой стороны ея должна быть тоже поддерживающая стѣна, которая мѣшала-бы вымыванію земли водою, попадающею на верхъ.

III. *Смѣшанные болверки.* Такъ какъ издержки постройки стѣны отвѣсной или съ крутымъ откосомъ при бо́льшой глубинѣ очень значительны, то ее иногда соединяютъ съ пологимъ болверкомъ слѣдующимъ образомъ: отъ дна моря идетъ откосъ въ 2 или 3 основанія на 1 вы-

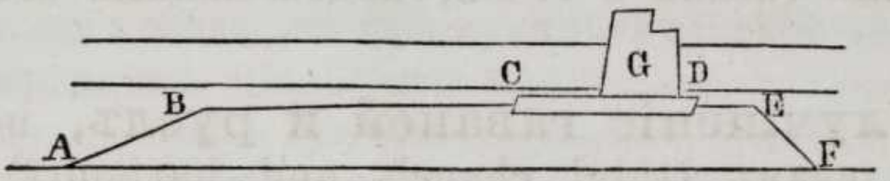
соту почти до уровня самой низкой воды, гдѣ устраивается широкая горизонтальная берма, и на этой уже бермѣ выводится отвѣсная каменная стѣна въ разстояніи отъ ея края, равномъ удвоенной или утроенной длинѣ пологаго откоса.

521. Волнорѣзъ или **брекватеръ**, устраиваемый для защиты отъ волнъ гавани или рейда, отличается отъ морской стѣны тѣмъ, что имѣетъ воду съ обѣихъ сторонъ. Мѣсто для волнорѣза выбирается такое, чтобы онъ представлялъ преграду волнамъ господствующихъ штормовъ и въ особенности тѣхъ, которые идутъ по направленію приливныхъ теченій. Волнорѣзъ можетъ быть соединенный съ берегомъ, какъ Плимутскій или Шербургскій, или идти отъ берега въ открытое море; въ послѣднемъ случаѣ онъ называется *моломъ* и, если онъ одинъ, то долженъ примыкать къ *верховому углу* входа въ бухту или гавань (§ 515), тогда онъ перерѣзываетъ приливное теченіе и не препятствуетъ отливному.

Правила устройства лицевой грани волнорѣза и мола тѣ-же, что и лица морской стѣны при большой глубинѣ, объясненныя въ предъидущемъ параграфѣ. Задняя грань отвѣснаго волнорѣза бываетъ тоже отвѣсна; при наклонной и смѣшанной лицевой сторонѣ задняя грань бываетъ отвѣсна, когда предполагается устроить набережную; въ другихъ случаяхъ она дѣлается тоже наклонною, но круче, напримѣръ въ 1 или $1^1/_2$ основанія на 1 высоту, и одѣвается не такими крупными камнями какъ лицо. Объ устройствѣ насыпей и каменныхъ кладокъ подъ водою смотрите § 412. Когда для опусканія камней употреблены подмостки на винтовыхъ сваяхъ, то сваи остаются внутри волнорѣза: діаметръ ихъ долженъ составлять 20-ю долю ихъ высоты и потому для нихъ надобно при большой высотѣ употреблять составные брусья, связанные желѣзными обручами, какъ въ Портлендѣ.

Чертежъ 298 есть разрѣзъ Шербургскаго волнорѣза, въ которомъ соединенъ пологій откосъ съ отвѣсною стѣною. Основаніе AF имѣетъ 300 футовъ ширины; откосъ AB сдѣланъ въ $2^1/_2$ основанія на 1 высоту; BC въ $5^1/_2$ основаній, EF въ 1 основаніе; CD есть почти горизонтальная берма, на которой выведена отвѣсная стѣна G

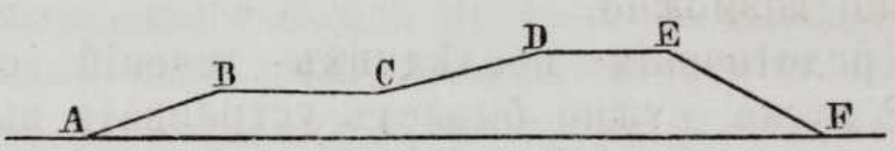
толщиною 36 футовъ у основанія. Самые высокіе прили-



Черт. 298.

вы поднимаютъ воду на 19 футовъ, глубина при самой низкой водѣ есть 40 футовъ.

Чертежъ 299 есть разрѣзъ Плимутскаго волнорѣза,



Черт. 298.

который можетъ служить примѣромъ устройства съ уступами; откосы *AB* и *CD* имѣютъ 5 основаній, *EF* $1^1/_2$ основанія на 1 высоту, а *BC* и *DE* горизонтальны.

522. Приращеніе берега или выдвиганіе его въ море должно быть производимо съ большою осторожностью особенно около бухтъ и устьевъ рѣкъ, а то оно можетъ затруднить очищеніе русла отливными теченіями, даже засорить или затянуть это русло. Въ особенности надобно заботиться о томъ, чтобы пространство, теряющееся для приливной воды при уширеніи берега, замѣнено было углубленіемъ или инымъ улучшеніемъ русла или бухты. Поврежденія и разрушеніе гавани бывали всегда слѣдствіемъ упущенія изъ виду этого обстоятельства.

Первое дѣло при выдвиганіи берега состоитъ въ томъ, чтобы поднять дно, сколь можно выше, посредствомъ осадки наносовъ: для этого устраивается рядъ поперечныхъ сквозныхъ бунъ и продольныхъ сквозныхъ-же заборовъ, такъ что образуется сѣть, задерживающая вещества, которыя осаждаются изъ воды.

Когда земля достаточно поднята наносами, тогда устраиваютъ со стороны моря дамбу и приступаютъ къ осушенію грунта (§ 484).

ОТДѢЛЪ III. ГАВАНИ И РУСЛА, ПОДВЕРЖЕННЫЯ ПРИЛИВАМЪ.

523. Улучшеніе гаваней и руслъ, подверженныхъ приливамъ (tidal chanels and harbours) производится усиленіемъ отливнаго теченія, какъ сказано въ § 517. Мѣры, принимаемыя съ этою цѣлью, сходны съ мѣрами для улучшенія рѣкъ, описанными въ § 470 съ тѣмъ дополненіемъ, что пространство, наполняющееся водою при каждомъ приливѣ должно быть такъ велико, какъ только возможно.

Для сосредоточенія послѣднихъ теченій отлива на углубленіе русла нужно бываетъ устраивать выдающіяся въ море плотины (training dykes): чтобы онѣ не уменьшали объема вливающейся воды, онѣ должны очень мало или почти вовсе не возвышаться надъ самыми низкими водами; мѣсто ихъ нахожденія означается рядами бакеновъ.

Если устраиваются каменныя плотины или набережныя, то ихъ должно такъ помѣщать, чтобы взамѣнъ отрѣзываемой ими площади отъ широкихъ мѣстъ была увеличиваема площадь въ узкихъ мѣстахъ, или чтобы уменьшеніе объема вознаграждалось впереди этого мѣста выемкою земли, возвышающейся надъ уровнемъ низкихъ водъ.

Самое важное дѣйствіе устройства глубокаго, прямаго и правильнаго русла состоитъ въ увеличеніи высоты и паденія прилива и въ уменьшеніи умѣряющаго вліянія малой глубины на передъ приливной волны, о которомъ говорено было въ § 516.

Для того, чтобы увеличить глубину у *бара*, жетеи, молы и волнорѣзы должны быть такъ располагаемы, чтобы теченіе сосредоточивалось на барѣ.

Пространство между жетеями должно разширяться внутрь для того, чтобы удерживать приливную воду и чтобы волны во время бури послѣ входа могли распространяться. Когда устроенъ только одинъ молъ, то онъ долженъ начинаться у верховаго угла бухты или русла по причинамъ, изложеннымъ въ § 521; при опредѣленіи, который

уголъ есть верховой, надобно брать въ расчетъ движеніе приливной волны вдоль берега, которое вслѣдствіе очертанія его можетъ быть иногда противоположно направленію приливныхъ волнъ открытаго моря.

Баръ можетъ быть такимъ образомъ смытъ и унесенъ водою въ болѣе глубокое мѣсто, хотя вообще не возможно совершенно отъ него освободиться.

524. Промывный бассейнъ есть хранилище, въ которомъ собирается приливная вода, и изъ котораго она выпускается сквозь водоспуски въ теченіи нѣсколькихъ минутъ при низкомъ уровнѣ или при отливѣ; устремляясь съ большою скоростью она размываетъ баръ и очищаетъ русло отъ наносовъ. Выпускъ воды изъ бассейна долженъ производиться на сколько возможно прямо вдоль русла; отверстія должны быть расположены равномѣрно по всей ширинѣ русла, для того чтобы очищеніе производилось одинаково во всѣхъ частяхъ и чтобы сила воды не сосредоточивалась въ нѣкоторыхъ только пунктахъ. Для дого, чтобы вода могла уносить песокъ и хрящъ, она должна течь со скоростью 4 или 5 футовъ въ секунду; размѣры отверстій должны быть расчитаны на эту скорость. Одинъ изъ лучшихъ примѣровъ подобнаго устройства представляетъ входъ въ Сондерлендскую гавань: вода выпускается въ теченіи 15 минутъ отлива со скоростью 5 футовъ въ секунду и дѣйствіе теченія замѣтно въ морѣ на разстояніи 6000 футовъ, хотя жетеи, между которыми протекаетъ вода, выходитъ въ море только на 1000 футовъ.

525. Каменныя набережныя суть поддерживающія стѣны, объ устойчивости которыхъ говорено въ §§ отъ 265 до 269, а объ устройствѣ въ §§ 271 и 272. Обыкновенная ихъ толщина у основанія бываетъ отъ $^1/_3$ до $^1/_2$ высоты. При возведеніи ихъ на сваяхъ, дерево должно быть всегда подъ водою (Часть II, Глава VI, Отдѣлъ II). Лицо каменной стѣны защищается отъ ударовъ судовъ рѣшеткой изъ свай и горизонтальныхъ схватокъ.

О деревянныхъ и желѣзныхъ береговыхъ обдѣлкахъ говорено въ § 469.

Внутренняя сторона волнорѣза можетъ быть устроена какъ набережная.

526. Молы изъ каменной кладки должны быть устроены какъ отвѣсные волнорѣзы съ набережными. Деревянные и желѣзные молы лучшаго устройства состоятъ изъ остововъ, поддержанныхъ сваями. Нижняя часть деревяннаго мола окружается иногда каменными отсыпями, образующими волнорѣзъ.

527. Гавани и доки. *Приливная гавань* (deep-water-basin) есть резервуаръ, окруженный набережными; въ немъ удерживается приливная вода на какой-нибудь высотѣ, обыкновенно выше половины прилива, когда уровень моря при отливѣ падаетъ: для этого при ней есть шлюзныя ворота достаточныхъ размѣровъ и крѣпкости, они отпираются внутрь. Если входъ въ гавань подверженъ дѣйствію волнъ, то въ немъ должны быть вторыя, *морскія* ворота, отпирающіяся внаружу: во время шторма ихъ должно запирать. Приливая гавань можетъ иногда служить какъ промывный бассейнъ (§ 524)

Мокрый докъ отличается отъ приливной гавани тѣмъ, что у входа въ него помѣщается шлюзъ, которымъ суда могутъ вводиться при всякой высотѣ уровня въ морѣ. О шлюзахъ смотрите § 506. Морской шлюзъ, подобно рѣчному, не имѣетъ стѣнки паденія.

Для того, чтобы входъ судовъ въ шлюзъ и выходъ изъ него былъ удобенъ, надобно, чтобы проходъ въ гавань былъ обращенъ противъ отливнаго теченія нѣсколько наклонно.

Лучшій затворъ для бассейна или дока есть *ботапортъ*, желѣзное судно, которое ставится поперегъ входа. Когда нужно запереть входъ, то въ чанъ, помѣщенный на ботапортѣ, наливаютъ воду, онъ погружается на дно, киль его, форштевень и ахтеръ-штевень входятъ въ пазы каменной кладки и плотно къ нимъ прилегаютъ. Когда нужно открыть докъ, то отливаютъ воду изъ ботапорта, онъ всплываетъ и его отводятъ въ нарочно устроенное мѣсто, гдѣ-бы онъ не мѣшалъ проходу судовъ.

Иногда докъ или гавань наполняютъ пресной водою, которая берется изъ рѣки или ключей и притекаетъ по

водопроводу; въ этомъ случаѣ надобно обратить особенное вниманіе на чистоту воды

528. Маяки Каменный маякъ, подверженный волненію имѣетъ форму круглой отвѣсной башни, сложенной изъ большихъ тесанныхъ камней, связанныхъ желѣзомъ, какъ описано въ § 412 и представлено на чертежѣ 275. Такая сплошная кладка должна возвышаться надъ самымъ высокимъ уровнемъ прилива на столько, на сколько поднимаются обыкновенныя волны Вся-же высота маяка должна быть такова, чтобы фонарь возвышался надъ гребнями штурмовыхъ волнъ, какъ разбивающихся объ маякъ, такъ и отражаемыхъ имъ; карнизъ маяка выступаетъ довольно сильно и закругленъ для отбрасыванія назадъ гребней волнъ

Металлическій маякъ состоитъ изъ винтовыхъ свай, связанныхъ струнами и раскосами и поддерживающихъ платформу или желѣзную башню, которая помѣщается выше гребней штормовыхъ волнъ; объ такой маякъ волны не разбиваются и не отражаются отъ него, поэтому онъ можетъ быть ниже сплошнаго каменнаго Объ устойчивости и крѣпкости такихъ сооруженій говорено было въ § 403. При проэктированіи связей надобно принимать въ расчетъ давленіе вѣтра, котораго наибольшая единичная величина, замѣченная въ Великобританіи есть $1^1/_2$ пуда на квадратный футъ плоской поверхности или около половины этой величины на плоское проложеніе цилиндрической поверхности

АЗБУЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

Цифры означаютъ страницы.

Авгитъ 383.
Азимутъ 54, 71.
Азотъ вѣсъ 335.
Акація вѣсъ 337, сопротивленіе разрыву 338, перелому 340.
Алебастръ 407.
Алидада 58.
Алкоголь вѣсъ 335.
Антрацитъ вѣсъ 336.
Арка геостатическая 230, 457, гидростатическая 226, 455, деревянная 519, желѣзная 607, линейная 219, 453, нагруженная отвѣсно 317, однообразной жесткости 322, ось неутральная 317, распоръ 233, стрѣльчатая 237.
Асфальтъ 408.
Ахрасъ вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 340.

Баба 649.
Бабка 495.
База 72.
Базальтъ 386, вѣсъ 336, 376.
Бакаутъ вѣсъ 337, сопротивленіе разрыву 338, раздавливанію 340, перелому 340.
Бакены 122.
Бакса 59.
Балка 187, высота 296, вѣсъ 281, вязки 492, дѣйствіе груза 259, желѣзная 565, моментъ сгиба 260, наклонная 313, непрерывная 308, ось неутральная 270, поверхность неутральная 269, прогибъ 288, проектированіе 298, предѣлъ длины 281, равной крѣпкости 276, распорка 512, связь съ подпорами 493, сдвигающее напряженіе 286, составная 500, трубчатая 566, укрѣпленная двумя концами 303, однимъ концомъ 308, несовершенно 308, чугунная 563.
Бамбукъ вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 340, разрыву 338.
Банкетъ на желѣзной дорогѣ 715.
Барометръ измѣреніе высотъ 100.
Бассейнъ промывный 843, распредѣлительный 809
Башмаки 499, 649.
Берегъ морской приращеніе 841, рѣчной укрѣпленіе 774.
Береза вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 340, раздавливанію 340, разрыву 338.
Берма 366.
Бетонъ 405, крѣпкость 406, основанія 653, смолистый 408, 682.
Благонадежность матеріаловъ 240.
Бойка свай 648.

Болверки 837.
Болты 498, 554.
Ботапортъ 844.
Боярышникъ вѣсъ 337, сопротивленіе разрыву 338.
Брекватеръ 840.
Бронза 630, вѣсъ 336, сопротивленіе разрыву 338, разширеніе 302.
Брусья 187, желѣзныя 555, кривыя 501, крученіе 301; сопротивленіе разрыву 246.
Бугиль 649.
Буйки 122.
Букъ 482, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 340, раздавливанію 340, разрыву 338.
Буны въ моряхъ 837, въ рѣкахъ 776.
Бусоль 58, 70.
Быки сводовъ 466, рѣчные 784.
Бьефъ 779, 827.

Вагоны землевозные 365.
Ватерпасъ 426.
Величина единичная силы 141, 159, напряженія 170.
Веревка равновѣсіе 201.
Вершины горъ 101.
Взрывы порохомъ 372, 665.
Винты 497, 554.
Вмѣстимость водоотводовъ 793.
Вода вѣсъ 335, давленіе 727, движеніе 727, источники 752, очищеніе 806, поглощеніе камнями 391, расходъ 728, 757, фильтрированіе 808.
Водолазы 665.
Водоотводы вмѣстимость 793.
Водоотливъ при осушеніи земель 797.
Водопроводы 785.
Водораздѣлы 101.
Водородъ вѣсъ 335.
Водосливы расходъ 739.
Водоснабженіе городовъ 800, каналовъ 824, перемежное 812.
Водоспуски расходъ 739, при водохранилищѣ 767, при запрудѣ 781.
Водостоки 797.
Водотоки 101.
Водохранилища 761, 803.
Воздухъ вѣсъ 335.
Возвышенность плоская 101.
Возвышеніе внѣшняго рельса 702.
Волны 130, движеніе 828.
Волнорѣзы 840.
Время 76, опоражниваніе водовмѣстилища 750.
Вспучиваніе 255.
Выемки на сушѣ 362, подъ водою 663, объемы 356, откосъ въ скалѣ 345.
Выломка камней 372.
Высота балки 296, давленія воды 727, измѣреніе 100, коефиціента 250, насыпи 118, нивелировочная 95, 97, относительная 91, соотвѣтственная 76, соотвѣтственная скорости 733.
Высотомѣръ 98.
Вытягиваніе сопротивленіе ему 246, 338.
Вѣскость 160, земель 345, камней 376, таблицы 335.
Вѣсъ балки 281, единицы 141, относительный 160, 335, потеря при сушкѣ дерева 485.
Вѣтеръ дѣйствіе на мостъ 577.
Вѣхи 12, 18.
Вязка балокъ 492, дерева 489, распорокъ и струнъ 494.
Вязъ 482.

Гавани приливныя 844, улучшеніе 842.
Газъ свѣтильный вѣсъ 335.
Галереи подземныя 639.
Гвозди 496, 554.
Гибкость боковая 248, коефиціентъ 243.
Гидравлика 727.
Гидростатика 173.
Гипсъ 407, вѣсъ 336.
Глина вѣсъ 336, 376, для кирпича 393.
Глиноземъ 381.
Глубина моря 129.
Гнейсъ 385.
Горизонтали 14, 103.
Горизонтъ искусственный 97, моря 3, пониженіе 130.
Города осушеніе 797, водоснабженіе 800.

Грабъ вѣсъ 337, сопротивленіе раздавливанію 340, разрыву 338.
Гравированіе плановъ 132.
Гранитъ 384, вѣсъ 336, 376, разширеніе 302, 393, сопротивленіе раздавливанію 340.
Гребля веслами 128.
Грузъ движущій по дорогѣ 687, подвижной на балкѣ 265, 299, поперечный 259, распредѣленный 189, раздробляющій стойку 256.
Грунтъ развѣдка 16, 358.
Гуатерія вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 340, разрыву 338.

Давленіе 140, воды 277, въ землѣ 347, въ сводѣ 452, жидкое 220, жидкостей 173, земли 346, 350, на кружала 524, на фундаментъ 410, нормальное 226, отвѣсное 231, равномѣрное 221, центръ 175.
Движеніе по дорогѣ сопротивленіе 674, 684.
Дерево вязки 489, вязкость 487, вѣсъ 337, лиственное 481, красное 483, крѣпкость 338, 487, прочность 486, разширеніе 302, свалка 484, сопротивленіе 488, сохраненіе 486, строеніе внутреннее 475, сушка 484, хвойное 480.
Дернъ 361.
Диптериксъ вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 340.
Діаметръ земнаго шара 3.
Діоритъ 386.
Длина балки 296, предѣлъ 281.
Дождь 752.
Дождемѣры 755.
Доки 844.
Доски еловыя 480, шпунтовыя 653.
Долгота географическая 76
Доломитъ 384, 390, вѣсъ 336, 376
Долото 359.
Дороги 669, желѣзныя 684, закругленія 108, 701, колейныя 684, осушеніе 677, обыкновенныя 674, прорѣзы 676, уклонъ нормальный 673, 674, 693, ширина 676, 710.
Дренажъ тонеля 644.
Дубъ 481, вѣсъ 337, сопротивленіе 339, 340.
Дуга величина 38, деревянная 501, досчатая 502, геостатическая 226, гидростатическая 230, круговая 220, линейная 219, скошенная 223, стянутая деревянная 522, желѣзная 604, шара земнаго 48, эллиптическая 221.

Евкалиптъ 483, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, раздавливанію 340.
Единицы вѣса 141, длины 3, напряженія 170, силы 159.
Ель 480, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, разрыву и скалыванію 339.

Желѣзо 533, 543, вѣсъ 336, кровельное 505, крѣпкость 550, отпоръ 551, примѣси 536, порча и предохраненіе 499, 552, разширеніе 302, руды 533, сварка 545, сопротивленіе 338, 339, 340, сталеватое 547.
Жесткость балки 289, строенія 140.
Жидкость давленіе и равновѣсіе 173.
Жировикъ 386.
Жиръ китовый вѣсъ 335.
Журналъ нивелированія 93, съемки 30.

Забутка сводовъ 449.
Загражденіе рѣчныхъ рукавовъ 778.
Закаливаніе чугуна 539.
Закленки 553.
Законы гидростатики 173, крѣпкости 137, теченія воды 729, устойчивости 137.
Закругленія дорогъ 108, 701.
Замазка для чугуна 655, для швовъ каменной кладки 423.
Запросъ на воду 761.
Запруда водохранилища 764, дѣйствіе въ рѣкѣ 747, рѣчная 778.
Зарядъ пороховой 372.
Звенья желѣзной цѣпи 557.
Звѣзда полярная 78, неподвижныя 136.

Земли преобладающія въ камняхъ 381.
Земли устойчивость и давленіе 346, уголъ покоя 343.
Знаки съемки 17, оси дороги 115, сооруженій 118.
Золото вѣсъ 336, разширеніе 302.

Ива вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341.
Избытокъ сферическій 49.
Известь 381, 384, чистая 400, гидравлическая 401.
Известняки 389, вѣсъ 336, сопротивленіе раздавливанію 340, составъ 397.
Изгибы поверхности земли 101.
Изгородь при земляной работѣ 360.
Изкаженіе матеріаловъ 239.
Изломъ камней 380.
Изысканія 9.
Илимъ 482, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому и раздавленію 340, разрыву 339.
Илъ вѣсъ 336.
Инерція моментъ 272, плечо 561.
Инструменты буровые 358, каменныхъ работъ 426, отражательные 66, прохожденій 107, универсальный 68.

Кавальеръ земляной 360.
Кали 382.
Камни 377, взрывы порохомъ 372, вѣскость 376, выломка 372, глинистые 388, известковые 389, искусственные 397, испытаніе 391, кремнистые 384, крѣпкость 390, поглощеніе воды 391, разширеніе 393, сложеніе 377, составъ 380.
Канавы водоотводныя 361.
Каналы 813, окружный водохранилища и питательные 769, расходъ воды 745.
Канализационный проводъ 816.
Канаты сопротивленіе пеньковаго 339, проволочнаго 558.
Каолинъ 394.
Карнизы 422, 430.
Карты географическія 2.
Каштанъ 482, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, разрыву 339.
Кварцъ 382, 386, вѣсъ 336, 376.
Кедръ 481, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, разрыву 339.
Кипрегель 83.
Кипѣніе воды 100.
Кирпичь 393, глина для него 393, вѣсъ 336, достоинства 395, пресовой 397, приготовленіе 395, разширеніе 302, 397, сопротивленіе раздавливанію 340.
Кислородъ вѣсъ 337.
Кіура 416.
Кладка бутовая 421, кирпичная 427, каменная 416, обмѣръ 426, сводовъ 449, сухая 423, тесовая 417, уроки 423, 430, устойчивость 431.
Кленъ вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, разрыву 339.
Климатъ вліяніе на лѣсъ 483.
Клинья въ кружалахъ 523, въ сводѣ 448, желѣзные 554.
Ключь свода 462.
Ключи водяные 803.
Коефиціентъ благонадежности 241, жесткости 243, крѣпкости 243, оптора 246, перелома 271, 280, расхода воды 736, сжатія ея 736, тренія 185, тренія земли 343, воды 733.
Коксъ вѣсъ 336.
Колеи на дорогахъ 684
Колодецъ водоснабдительный 806, водоспускный 767, кранный 768, погружаемый 659, тонеля 119, 633.
Колоколъ водолазный 667.
Конецъ мертвый трубы 811.
Контрфорсы стѣнъ 443.
Координаты съемки 82, цѣнной линіи 473.
Копка земли 363.
Копры 649.
Котлы толщина стѣнъ 247.
Краны 425.
Кремень 386, вѣсъ 336, 376.
Кремнеземъ 381.
Кривизна балки 288.
Крѣпкость балки 512, дерева 487, желѣза и стали 550, испытаніе 242, камней 390, коефиціентъ 243, матеріаловъ 239, поперечная 268,

равная балки 276, равная цѣпи 215, распорки кривой 512, сводовъ 470, строеній 139, таблицы 338, чугуна 539.
Кровли 503.
Кроунгласъ вѣсъ 336.
Кругъ высотъ 57, отражательный 68, поворотный 724.
Кружала 451, 523.
Крученіе бруса 301.
Крыши деревянныя 505, желѣзныя 586.
Кулакъ 416.

Латунь 630.
Лекалы 426.
Лжеяворъ 482.
Лимбъ 57, 59.
Линія дороги 671, основная 2, 10, провѣшиваніе 13, 106, проекта 10, равновѣсія цѣпи 230, равной глубины 129, разбивка кривой 108, 704, цѣпная 212, 217, 454, 473.
Липкость земли 344.
Лиственница вѣсъ 337, сопротивленіе 339, 340.
Листы желѣзные 583, 505.
Литографированіе плановъ 132.
Лицо камня 416.
Логъ 418.
Ложка 356.
Ложе для воротъ 820.
Лотъ 127.
Лошадь 689, 693.
Лѣсъ строевой 478, вліяніе климата и почвы 483, признаки доброты 478. (См. дерево).

Магнезія 381.
Малка 426.
Матеріалы строительные 137.
Масло вѣсъ 335.
Масштабъ 5, 7.
Машины землечерпательныя 664, паровыя на дорогахъ 690, водоподъемныя 804.
Маяки 845.
Мензула 83.
Мергель 393, вѣсъ 336.
Меридіанъ 76.
Минералы 382.
Молы 844.
Моментъ инерціи 272, листа 583, пары 147, сгиба 260, силы 150, сопротивленія сгибу 273.
Мора 483, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341.
Мостовыя 680.
Мосты арочные 607, висячіе 204, 208, 616, водопроводные 787, дѣйствіе вѣтра 577, желѣзнодорожные 712, отношеніе вѣса къ нагрузкѣ 627, каналопроводные 816, подвижные 817, 827, трубопроводные 791, чрезъ рѣки 783, чрезъ каналы 816.
Мраморъ 389, вѣсъ 336, разширеніе 302, 393, сопротивленіе раздавливанію 340.
Мыловка 386.
Мѣдь 629, вѣсъ 336, кровельная 505, разширеніе 302, сопротивленіе перелому 340, разрыву 338, скалыванію 339.
Мѣлъ вѣсъ 336, 376.
Мѣры длины 3, поверхности 4, объема 5, вѣса 141.

Набережныя 843.
Наваливаніе земли 363.
Нагели 496.
Нагрузка арки 317, балки 299, безопасная 240, дѣйствительная 241, разрушающая 240.
Наддужники 521.
Надписи на планахъ 14.
Назначеніе высоты насыпей 118, линіи проекта 86, тонеля 119, ширины полосы земли 118.
Нанесеніе на бумагу угловъ 80, съемокъ 31, 82.
Напарья 359.
Напоръ воды 731, 801.
Направленіе силы 141.
Напряженія 170, въ матеріалахъ 239, въ стропилахъ 509, въ балкѣ 286, сложныя 176, сопряженныя 177.
Наращиваніе дерева 492.
Насосы 804.
Настилки досчатыя 503, желѣзныя 582.

Насыпи 367, объемы 356, подъ водою 667.
Натръ 382.
Натянутость 170.
Наугольникъ 426.
Начертаніе линіи дороги 671, 709.
Нектандръ 483, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341.
Нивелированіе 15, 86, 93, 96, 104.
Нивелиръ 87, 91.
Низменности приморскія 796.
Нога стропильная 313, 506.
Ноніусъ 57.

Обдѣлка колодцевъ 635, 637, рѣчныхъ береговъ 775.
Обманка роговая 383.
Обмѣръ кладки каменной 427, кирпичной 430.
Обрѣшотка крыши 506.
Объемы земляныхъ работъ 356, уравниваніе 360.
Одежды каменныя береговъ 775.
Озера водохранилищныя 771.
Олигоклазъ 385.
Олово 629, вѣсъ 326, разширеніе 302, сопротивленіе разрыву 338.
Опораживаніе водовмѣстилища 750.
Опыты надъ крѣпкостію 242.
Ординаты съемки 21, 24.
Оріентированіе мензулы 84.
Орошенія 799.
Орѣшникъ вѣсъ 337, сопротивленіе разрыву 339.
Осадка арки 333, насыпи 367.
Осмотръ мѣстности 9.
Основанія строеній 138, 408, 646, бетонныя 653, трубчатыя 654.
Осушеніе выемокъ 362, дорогъ 677, городовъ 797, земель 792, насыпей 369, тонелей 644
Ось земли 3, неутральныя арки 317, столба 253, сѣченія балки 270, фундамента 410.
Отбой сваи 650
Отверстія въ запрудѣ 767.
Откосы земли 343, осушеніе 362, планировка 372, скалы 345.
Отпоръ 245, балки 300, бруса 246, желѣза и чугуна 551, коефиціентъ 246.
Очищеніе воды 806.

Паводки 759.
Падубъ вѣсъ 337, сопротивленіе разрыву 339.
Палуба кружалъ 451.
Пантографъ 134.
Паралаксъ нитей 62.
Паралелограмъ силъ 143.
Пары силъ 147.
Паровозы 691, 694, работа 697.
Паръ вѣсъ 335.
Перевалъ горнаго хребта 101.
Перевозка земли 363, разстояніе 367.
Перевязка швовъ 418, 428.
Переломъ арки 233, коефиціентъ 271, 280, поперечный 255, свода 458, сопротивленіе 268.
Перемычки 660
Перемѣщеніе камней 424.
Переѣзды на желѣзныхъ дорогахъ 712.
Перпендикуляры при съемкѣ 21.
Песокъ вѣсъ 336.
Песчаникъ 387, вѣсъ 336, 376, разширеніе 302, 393, сопротивленіе перелому и раздробленію 340.
Печатаніе плановъ 132.
Пироны 422.
Пихта 480.
Плаваніе центръ 172.
Плавни 537.
Планиметръ 35.
Планировка откосовъ 372.
Планъ гравированіе, печатаніе, прорисовка 132, мѣстности 1, 10, оцѣночный 11, уменьшеніе 133, увеличеніе 135.
Платина вѣсъ 337, разширеніе 302.
Плесъ 776, 827.
Плечо пары силъ 147, инерціи 561.
Плиты чугунныя 505, 585.
Плоскости наклонныя 687, 823.
Плотины водостѣснительныя 777, по берегамъ рѣкъ 795, разборчатыя 783.
Площади фигуръ 33, 47, земель 352, земляныхъ работъ 355
Поверхность балки неутральныя 269, свода 449, 453.
Повтореніе угловъ 65.

Поглощеніе воды камнями 391.
Подгаешники 498.
Подкосы 187.
Подпоры вязка съ балками 493, наращиваніе 492, ось неутральная 253, сопротивленіе 255, чугунныя 558.
Подпоръ запруды 747.
Подушки рельсовъ 720.
Полотно дороги 676, моста 618, работы земляной 352, осушеніе 362.
Полуширина земляной работы 352.
Полосы желѣзныя 499.
Породы камней 377.
Порфиръ 388.
Порча дерева 486, желѣза 552.
Постель камня 416.
Потеря вѣса дерева при сушкѣ 485.
Потокъ въ неправильномъ руслѣ 749, нормальное состояніе 772.
Почва вліяніе на лѣсъ 483.
Пояса въ сводахъ 468.
Правило 426.
Предохраненіе камней 392.
Предѣлъ длины балки 281.
Преобразованія арокъ 219, силъ 157, строеній 239, фермъ и цѣпей 215.
Препятствія на линіяхъ 25.
Приливы 833.
Приборъ базисный 18.
Приведеніе къ горизонту линій 21, угловъ 70, угловъ къ центру 75.
Признаки хорошаго лѣсу 479.
Примѣси къ желѣзу 531.
Приращеніе морскаго берега 841.
Причалокъ 426.
Проводъ для воды 765.
Провѣшиваніе линій 13, 106.
Прогибъ балки 288, струны 211.
Производство выемокъ 362.
Прокладки въ строеніяхъ 419, 430.
Проложенія фигуръ 157, силъ 184.
Промѣры глубины 127.
Прорѣзъ дороги 671, земли 1, 10, 11, исполнительный 116, продольный 95, поперечный 96.
Прочность камней 391.
Прутья висячихъ мостовъ 208.
Пуццолана 403.
Пяты свода 449.

Работа земляная 342, паровоза 697.
Равновѣсіе жидкостей 173, силъ 140, 146, 148, 154, 155, строеній 138, струнъ и распорокъ 187, цѣпей и веревокъ 201, 209.
Равнодѣйствующая силъ 142, 148, 154, 155, паръ силъ 147.
Радіусъ кривизны дороги 709.
Разбивка закругленій 108, 704, строеній 11, тонеля 119.
Развѣдка грунта 10, 358.
Раздробленіе матеріаловъ 254, сопротивленіе 340.
Разложеніе силъ 144.
Разрывъ сопротивленіе 246, 338.
Разстоянія измѣреніе 8, зенитальныя 55, 77, перевозки земли 367.
Разширеніе отъ тепла 302, 393.
Ракитникъ вѣсъ 337, сопротивленіе разрыву 339.
Раскосы цѣпныхъ мостовъ 622.
Распоръ 170, 192, 194.
Распорка 187, вязка 494, желѣзная 560, кривая 512, ось неутральная 253, сопротивленіе 255, чугунная 558.
Растворъ известковый вѣсъ 336, гидравлическій 404, крѣпкость 406, обыкновенный 403, сопротивленіе разрыву 338.
Растрескиваніе матеріаловъ 254.
Расходъ воды 728, въ рѣкѣ 757, въ трубахъ 760.
Ребра непрерывныя 308.
Резервы земляной работы 360.
Резервуаръ городской 809.
Рейки 89.
Рекогносцировка 9.
Рельсы 718.
Рефракція 99.
Ржавчина 499.
Роговикъ 386.
Ростверкъ 647.
Ртуть вѣсъ 336.
Руды желѣза 533.
Рукава рѣкъ 778.
Рулетка 23.
Румбы 71.

Русла водяныя 771, 785, соединеніе 787, улучшеніе 776.
Рѣки канализація 827, расходъ воды 757, судоходство 826, укрѣпленіе береговъ 774.
Самшитъ вѣсъ 337, сопротивленіе раздавливанію 340, разрыву 339.
Сваи 648, бойка 649, винтовыя 651, отбой 650, шпунтовыя 665.
Сварка желѣза 545.
Свинецъ 628, вѣсъ 337, кровельный 505, расширеніе 303, сопротивленіе разрыву 338.
Своды быки 466, забутка 450, каменные 448, кирпичные 450, кладка 449, крѣпкость 470, косые 466 лежачіе 448, линія давленія 452, поверхность 453, подземные 471, примкнутые 447, толщина 462, устои 465, устойчивость 457, цѣпи 466.
Сгибъ балки 260.
Сдвиганіе 170, сопротивленіе 250
Сдавливаніе трубъ 258.
Секстантъ 23, 66, 68.
Серебра вѣсъ 336, расширеніе 302.
Сжатіе водяной струи 736, земли 3.
Сжимаемость матеріаловъ 248.
Сжиманіе 252.
Сигналы съемки 17, 122.
Силы 140, движущія по дорогѣ 687, паралельныя 148, пары 147, центръ 152, равновѣсіе 140, 146, равнодѣйствующія 142, разложеніе 144, составляющія 142.
Сіенитъ 284.
Скалы откосъ 345.
Скалываніе 254, сопротивленіе 339,
Скважины буровыя 358, 640.
Склоненіе звѣздъ 136, магнитной стрѣлки 72.
Скобы желѣзныя 422, 498.
Скорость теченія 729, волнъ 829.
Скошиваніе 250.
Скрѣпы дерева 489, желѣза 553.
Сланецъ 386, вѣсъ 336, 376, кровельный 505. расширеніе 302. сопротивленіе перелому 340, разрыву 338.
Сложеніе камней 379.
Слюда 383.
Смазка глиняная 372.
Снаряды водолазные 666.
Снабженіе водою городовъ 800, 804, каналовъ 824
Сооруженія морскія 828, накидныя 667.
Сопротивленіе движенію по дорогѣ 675, 684, на закругленіяхъ 701, перелому 268, 340, раздробленію 252, 340, разрыву 246, 338, скалыванію 250, 339, сдавливанію 258, фермъ 200, фундаментовъ 409.
Сосна вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, раздробленію 340, разрыву 339, скалыванію 339.
Составъ камней 380.
Состояніе нормальное потока 772.
Сохраненіе дерева 486.
Спалзываніе земли 266.
Спиртъ вѣсъ 336.
Сплавы олова 629.
Сплющиваніе матеріаловъ 255.
Сподумитъ 385.
Спрямленіе рѣчнаго русла 778.
Сращиваніе дерева 490.
Сталь 547, вѣсъ 336, крѣпкость 550, расширеніе 302, сопротивленіе разрыву 338.
Станціи желѣзной дороги 711, 725.
Статика 137.
Стекло вѣсъ 336, расширеніе 303, сопротивленіе разрыву 338.
Столбы неутральная ось 253, желѣзные 560, на дорогахъ 725, сопротивленіе 255.
Строенія 137, деревянныя 475, каменные 377, металлическія 533, подводныя 667, равновѣсіе 138, усилія поддерживающія 138, штучныя 239.
Стропила 507, 586.
Стрѣлки 723.
Струна 187, балка 512, вязка 494, желѣзная 556, прогибъ 211, сращиваніе 490
Стѣна водохранилища 770, контрфорсы 443, надсводная 449, 462, опорная 434, поддерживающая 436, 444, связь съ грунтомъ 446, упоры 447.

Суглинокъ 393.
Суда водолазныя 667.
Судоходство 813, 826.
Сферичность земли 98.
Сцѣпленіе на желѣзной дорогѣ 691,
Съемка 1, 8, 12, мензульная 84, морская 122, нанесеніе на бумагу 31, 82, оцѣночная 16, продольная 75, малая 81, сигналы 17,
Сѣченія балки равной крѣпкости 276,

Тальк 386.
Телеграфъ 726.
Телѣжки землевозныя 364, на желѣзныхъ дорогахъ 724.
Теодолитъ 54, 60.
Тесовикъ 416.
Тесъ кровельный 506.
Теченія законы 729, въ морѣ 130.
Тикъ 483, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, раздробленію 340, разрыву 339.
Тисъ вѣсъ 337, сопротивленіе разрыву 339.
Толь кровельный 506.
Тонель 471, 632, осушеніе 644, разбивка 119, фронтъ 644.
Тормозы 696.
Транспортиръ 80.
Трапп 386, вѣсъ 336, 376.
Треніе 184, воды 733, земли 343,
Триангуляція 9.
Тригонометрія 9, сферическая 47, формулы 38.
Тристанія вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, раздробленію 340.
Треугольники на землѣ 52, прямолинейные 43, прямоугольные 46, съемки 8, 12, сферическіе 52.
Тротуары 681.
Трубы 471, водопроводныя 787, діаметръ 743, дренажныя 798, зрительныя 55, осадные 359, распредѣлительныя 810, расходъ воды 743, спускныя 768, толщина стѣнъ 247, укладка 791.
Тычекъ 418.
Тяжесть двигатель по дорогѣ 687, центръ 160, 215.

Увеличеніе плановъ 135.
Углекислота 382, вѣсъ 335.
Углеродъ вѣсъ 335.
Уголъ горизонтальный 64, кирпичной кладки 430, наклоненія 97, 104, нанесніе на бумагу 80, перелома арки 233, покоя 185, 343, повтореніе 65, приведеніе къ горизонту 70, къ центру 75, румбическій 71.
Уголь каменный вѣсъ 336.
Удлиненіе брусьевъ 246.
Уклонъ балки 291, дороги 673, 693, наибольшій 103, подпорной воды 748, цѣпной линіи 473.
Укрѣпленіе береговъ 774.
Уменьшеніе плановъ 133, 135.
Упругость 244.
Уравниваніе объемовъ земли 360.
Уровень водяной 98, моря 3, съ пузырькомъ 57, 86.
Уроки земляныхъ работъ 562, каменныхъ 423, кирпичныхъ 431.
Усилія поддерживающія 138.
Устои деревянные 522, металлическіе 612, сводовъ 465.
Устойчивость земли 346, кладокъ 431, сводовъ 457, строеній 139, стѣнъ 434, 436, фермъ 195, штукъ 237,
Усъ китовый сопротивленіе разрыву 339.

Фашины 676, 736.
Ферма 186, въ два бруса 190, деревянная 502, дуговая 578, желѣзная 602, многоугольная 193, непрерывная 574, 601, открытая 194, преобразованіе 215, раскосная 196, 517, 602, рѣшетчатая 519, 600, сопротивленіе 200, трубчатая 571, устойчивость 195, шпренгельная 513.
Фильтрированіе воды 808.
Фронтъ тонеля 644.
Фундаменты 408, подводные 646.
Футштокъ 123.

Хлоритъ 384.
Хребты горъ 101.
Хомуты 499.

Цементъ 402, разширеніе 303.
Цемянка 403.
Центръ давленія 175, напряженія 171, плаванія 174, силъ 152, сопротивленія фермы 186, фундамента 409, строенія гибкаго 215, тяжести 160.
Цилиндръ толщина стѣнъ 248.
Цинкъ 629, вѣсъ 337, кровельный 505, разширеніе 303.
Цѣпь желѣзная 557, мостовая 616, мѣрная 18, нагруженная 204, въ сводахъ, устояхъ и быкахъ 466.

Чашки сферическія 247.
Черепица 505.
Чугунъ 537, вѣсъ 337, крѣпкость 539, отпоръ 551, плиты 505, порча 552, сопротивленіе 339, 340.

Шандоры 782.
Шаръ толщина стѣнъ 248.
Шахты 633.
Швы 138, замазка 423, 430, въ кладкахъ 416, 428, перевязка 418.
Шлакъ 537.
Шлемъ водолазный 605.
Шипы въ камняхъ 422.
Ширина дороги 676, 710.
Шиферъ 388.
Шлюзы въ каналахъ 819, рѣкахъ 827, морской гавани 844.
Шоссе 678.
Шпалы 716.
Шпатъ полевой 382, вѣсъ 376.
Шпильки 19.
Шпренгели 198, 513, 588.
Штанги 358.
Штативъ 59.
Штольни 639.

Щупъ 359.

Эйдографъ 135.
Экваторъ 3.
Экеръ 22.

Ясень 482, вѣсъ 337, сопротивленіе перелому 341, раздавливанію 340, разрыву 339.
Ящикъ безъ дна 653, съ дномъ 659.