Р 263618

Сидоров

Трубы и их соединения

Р263618

А-XV
8

А. И. Сидоровъ,

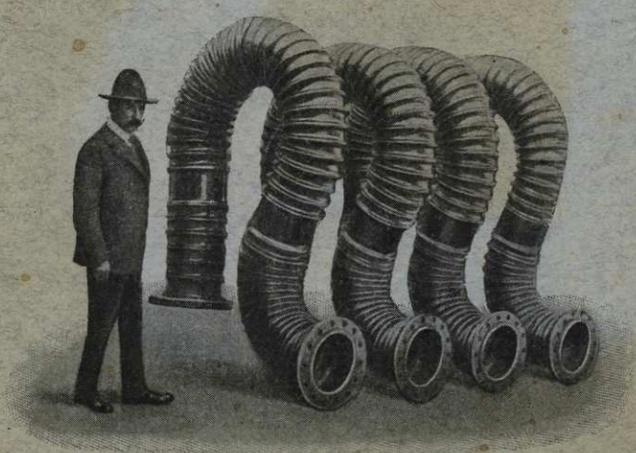
Профессоръ Императорскаго Техническаго Училища.

ТРУБЫ и ИХЪ СОЕДИНЕНІЯ.

(ТРУБЫ ЧУГУННЫЯ, ЖЕЛѢЗНЫЯ, СТАЛЬНЫЯ, МѢДНЫЯ, СВИНЦОВЫЯ, ГЛИНЯНЫЯ, ЦЕМЕНТНЫЯ, БЕТОННЫЯ, ЖЕЛѢЗОБЕТОННЫЯ, ДЕРЕВЯННЫЯ; РУКАВА, ФАСОННЫЯ ЧАСТИ, РАСШИРИТЕЛИ, СВЕРТЫВАНІЕ СОСУДОВЪ; ПАРОПРОВОДЫ).

АТЛАСОМЪ къ настоящему сочиненію служитъ 2-я часть „Атласа конструктивныхъ чертежей деталей машинъ“ П. К. Худякова и А. И. Сидорова, изданіе 4-е.

Цѣна книги безъ Атласа—8 рублей.



СТИПЕНДИЧЕСКИЙ КРУЖОК ТЕХНИКОВ

Типо-литографія Т-ва И. Н. КУШНЕРЕВЪ и К°. Пименовская ул., соб. домъ.

Москва—1912.

А-XV-8а

А. И. Сидоровъ,

Профессоръ Императорскаго Техническаго Училища.

№ 1164

ТРУБЫ и ИХЪ СОЕДИНЕНІЯ.

(ТРУБЫ ЧУГУННЫЯ, ЖЕЛѢЗНЫЯ, СТАЛЬНЫЯ, МѢДНЫЯ, СВИНЦОВЫЯ, ГЛИНЯНЫЯ, ЦЕМЕНТНЫЯ, БЕТОННЫЯ, ЖЕЛѢЗОБЕТОННЫЯ, ДЕРЕВЯННЫЯ; РУКАВА, ФАСОННЫЯ ЧАСТИ, РАСШИРИТЕЛИ, СВЕРТЫВАНІЕ СОСУДОВЪ; ПАРОПРОВОДЫ).

ПРОВЕРЕНО 1942
ПРОВЕРЕНО 1945
Н. Т. К. ПОГАШЕН Б У С 3 1 1
Р26361 8
МОСК. МЕХ.-МАШИНОСТР. ИН-Т БИБЛИОТЕКА им. Н. Э. БАУМАНА
Фундаментальная
МОСК. ВЫСШ. ТЕХНИЧ. УЧИЛИЩЕ БИБЛІОТЕКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКІЙ ОТДѢЛЪ

АТЛАСОМЪ къ настоящему сочиненію служитъ 2-я часть „Атласа конструктивныхъ чертежей деталей машинъ“ П. К. Худякова и А. И. Сидорова, изданіе 4-е.

Типо-литографія Т-ва И. Н. КУШНЕРЕВЪ и К°. Пименовская ул., соб. домъ.

Москва—1912.

Моему глубокоуважаемому и дорогому учителю

профессору Петру Кондратьевичу

Худякову

посвящаю этотъ мой трудъ

въ знакъ

глубокой признательности и уваженія.

Авторъ.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

§§ *страницы*

Предисловіе . . . . . XI—XVIII

Глава I. Основныя понятія о давленіи жидкости.

1. Понятіе о твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ. Понятіе о давленіи жидкости. Установленіе единицы давленія . . . . . 1 — 7
2. О давленіи на кривую стѣнку. Примѣры . . . . . 7 — 13

Глава II. Основныя понятія о трубахъ и ихъ соединеніяхъ. Вопросъ о прочности трубъ.

3. О трубахъ и ихъ соединеніяхъ вообще; число соединеній трубъ на данной длинѣ . 14 — 19
4—6. О сопротивленіи трубъ внутреннему давленію. Выводъ формулы Ламе и ея слѣдствія. Формула Маріотта. Формулы Винклера-Баха и Бредта. О дѣйствіи силъ въ изогнутыхъ трубопроводахъ; возможность вырыванія трубъ . . . . . 19 — 37
7. Вліяніе внѣшняго давленія . . . . . 37 — 38
8. Вліяніе собственнаго вѣса трубъ и вѣса заключенной въ нихъ жидкости . . . . 39 — 41
9. Вліяніе осадки стѣнъ и фундаментовъ и деформацій стѣнокъ, связанныхъ съ трубопроводомъ . . . . . 42 — 44
10. Вліяніе измѣненій температуры стѣнки трубы . . . . . 44 — 47
11. Вліяніе ударовъ жидкости въ трубѣ. Результаты изслѣдованій Н. Е. Жуковскаго. Понятіе о водяномъ ударѣ въ паропроводныхъ трубахъ; причины его . . . . . 48 — 51
12. Окончательное выраженіе толщины стѣнки трубы. Методъ Крафтса . . . . . 51 — 55

Глава III. (Вводная). О смѣщающихъ силахъ (по проф. Фидлеру).

13—20. О смѣщающихъ силахъ въ колѣнахъ . . . . . 56 — 66
13. Смѣщающая сила въ колѣнѣ многоугольной формы . . . . . 56 — 59
14. Смѣщающая сила въ колѣнѣ съ круговою осью . . . . . 59 — 60
15. Осевыя (продольныя) силы въ жидкой колоннѣ и въ самой трубѣ . . . . . 60 — 61
16. Уравновѣшиваніе смѣщающей силы продольными напряженіями въ стѣнкахъ . . 61 — 62
17. Расширители . . . . . 62 — 63
18. Колѣно, работающее какъ балка . . . . . 63 — 64
19. Труба, работающая какъ балка, закрѣпленная однимъ концомъ . . . . . 64 — 66
20. Предохранительные болты 66
21—25. О стремленіи прямой трубы выпучиваться подъ дѣйствіемъ равномѣрнаго внутренняго давленія . . . . . 66 — 71
21. Осевыя напряженія въ прямой жидкой колоннѣ 66
22. Смѣщающія силы вслѣдствіе упругаго прогиба . . . . . 66 — 67
23. Приближенныя условія равновѣсія . . . . . 67 — 68
24. Точное опредѣленіе критическаго или выпучивающаго давленія . . . . . 68 — 70
25. Эффективная длина трубы, подвергающейся выпучиванію, и эффективная продольная сила . . . . . 70 — 71
26—28. Жидкія арки . . . . . 71 — 77
26. Напорныя трубы, употребляемыя какъ трубчатыя арки . . . . . 71 — 72

§§ страницы

27. Прямое осевое напряженіе въ нагруженной трубчатой аркѣ . . . . . 72 — 75
28. Уравновѣшенныя жидкія арки . . . . . 75 — 77
29. Сводъ результатовъ 77
30—32. Устойчивость линіи трубъ (цѣлаго трубопровода) . . . . . 77 — 79
30. Непрерывная линія трубъ, соединенныхъ на флянцахъ или склепанныхъ 77
31. Трубопроводъ со скользящими расширителями 78
32. Трубопроводъ изъ трубъ, соединенныхъ раструбами . . . . . 78 — 79
33—35. Экспериментальное опредѣленіе смѣщающихъ силъ . . . . . 79 — 83
33. Уравновѣшенная жидкая арка или вертикальное колѣно . . . . . 79 — 80
34. Экспериментальное изслѣдованіе выпучиванія длинной прямой трубы . . . . . 80 — 83
35. Выпучиваніе жидкой арки 83
36. Жидкая цѣпная линія . . . . . 83 — 85
37. Экспериментальное опредѣленіе сопротивленія раструбныхъ соединеній вырыванію . . . . . 86 — 89

Глава IV. О герметичности трубъ и ихъ соединеній.

38. О герметичности трубъ и объ условіяхъ, необходимыхъ для полученія герметичности. Значеніе прокладокъ . . . . . 90 — 95

Глава V. Общія соображенія относительно конструированія различныхъ соединеній трубъ.

39. Типы соединеній трубъ (флянцы, раструбы, муфты на рѣзьбѣ) . . . . . 96 — 99
40. Общія соображенія относительно устройства и конструированія раструбовъ. Рецепты дрязги или ржавой замазки . . . . . 99—103
41. Общія соображенія относительно устройства и конструированія флянцевъ. Цѣльные съ трубою флянцы; флянцы, скрѣпляемые съ трубою; способы скрѣпленія: приклепываніе; припаиваніе и припои, старые и новые; навертываніе на рѣзьбѣ; развальцовка; посадка съ относительной расточкой; привариваніе. Вольные или свободные флянцы. Расчетъ флянцевъ (формулы Вестфаля и Баха и ихъ неточности). Рѣшеніе вопроса о прочности затянутыхъ болтовъ въ зависимости отъ степени упругости прокладки. Формулы автора для выраженія полной силы въ затянутомъ болтѣ. Различныя прокладки для флянцевъ . . . . . 103—144
42. Общая задача устройства каждаго трубопровода. Характеръ расположенія матеріала въ книгѣ. Раздѣленіе трубъ по роду матеріала, изъ котораго онѣ сдѣланы . . . . . 144—145

Глава VI. Чугунныя и стальныя трубы, получаемыя отливкой, и ихъ соединенія.

43. О водопроводныхъ трубахъ вообще. Различныя Нормы для чугунныхъ водопроводныхъ трубъ . . . . . 146—147
44. Чугунныя трубы съ раструбными соединеніями . . . . . 147—153
45. Чугунныя трубы съ флянцами . . . . . 153—157
46. Различныя спеціальныя соединенія чугунныхъ трубъ . . . . . 157—162
47. Удобоподвижныя соединенія. Скольженіе трубъ вдоль оси. Поворотъ трубы вокругъ неизмѣнной оси. Поворотъ трубы вокругъ точки (такъ называемое шаровое соединеніе трубъ). Водопроводныя трубы съ шаровыми сочлененіями. Трубы землечерпалокъ и землесосовъ . . . . . 162—169
48. Изломы трубъ съ плоскими стѣнками . . . . . 169—171
49—55. Нѣкоторыя подробности о чугунныхъ водопроводныхъ трубахъ . . . . . 171—184
49. Спецификаціи или техническія условія вообще. Спецификаціи инженера Ярдлей . 171—175
50. Спецификаціи города Рочестеръ . . . . . 175—179
51. Спецификаціи города Санъ-Луи . . . . . 179—180
52. О просверливаніи трубъ подъ давленіемъ . . . . . 180—182
53. Порча трубъ вслѣдствіе засоренія ихъ осадками или разрушенія трубъ электричествомъ 182
54. Дополнительный къ описаннымъ ранѣе примѣръ укладки подводной линіи трубъ . 182—184
55. О ледитѣ 184

§§ *страницы*

Глава VII. Поломки чугунныхъ трубъ.

56. Двадцать три примѣра поломокъ чугунныхъ паропроводныхъ трубъ, взятые изъ практики . . . . . 185—196
57. Поломки водопроводныхъ и газопроводныхъ трубъ; сравненіе чугунныхъ и желѣзныхъ трубъ въ смыслѣ безопасности . . . . . 196—198
58. Литература о чугунныхъ водо- и газопроводныхъ трубахъ . . . . . 198—200

Глава VIII. Желѣзныя и стальныя (не литыя) трубы.

Клепаныя трубы.

59. Исторія клепаныхъ трубъ; преимущества ихъ передъ чугунными трубами . . . . 201—204
60. Конструкція и расчетъ желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубъ . . . . . 204—208
61. Соединенія желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубъ . . . . . 208—209
62—74. Нѣкоторыя подробности о желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубахъ . . . . . 210—237

A. Описаніе нѣкоторыхъ исполненныхъ клепаныхъ трубъ.

62. Водопроводъ города Newark, N. J. . . . . 210—212
63. Стальныя водопроводныя трубы города Syrakuse, N. Y., въ Америкѣ . . . . . 212—214
64. Водопроводъ города Rochester, въ Америкѣ . . . . . 214—218
65. Водопроводъ города Allegheny, Pa., въ Америкѣ . . . . . 218—221
66. Водопроводъ города Duluth, Minn., въ Америкѣ . . . . . 221—222
67. Водопроводъ города Erie, въ Америкѣ . . . . . 222—223
68. Водопроводъ Vyrnwy, въ г. Ливерпулѣ 223
69. Шаровыя сочлененія водопровода города Торонто, въ Америкѣ . . . . . 224—226
70. Описаніе семи турбинныхъ желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубъ . . . . . 226—232

B. О сравнительныхъ достоинствахъ и недостаткахъ чугунныхъ, желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ (и сварныхъ, большого діаметра) трубъ.

71. Сравнительная долговѣчность чугунныхъ, желѣзныхъ и стальныхъ трубъ; асфальтировка и гальванизированіе . . . . . 234—235
72. Сравнительная безопасность чугунныхъ и желѣзныхъ и стальныхъ трубъ . . . . 234—235
73. Спирально-клепаныя трубы . . . . . 235—236
74. Большія паровыя клепаныя трубы. Литература 237
75. Желѣзныя и стальныя трубы съ зажимными брусками (Lock-bar pipes) . . . . . 237—245

Глава IX. Желѣзныя и стальныя трубы.

Сварныя и цѣльнотянутыя трубы.

76. О сварныхъ и цѣльнотянутыхъ трубахъ вообще . . . . . 246—247
77. Трубы, сваренныя въ стыкъ (газовыя) . . . . . 247—249
78. Трубы, сваренныя въ напускъ . . . . . 249—253
79. Описанія нѣкоторыхъ исполненныхъ сварныхъ трубъ большого діаметра . . . . 253—255
80. Спирально-сваренныя трубы . . . . . 256—257
81. Различные способы изготовленія цѣльнотянутыхъ трубъ. Способъ Маннесманновъ и работа на „Пильгервальценъ“ . . . . . 257—265

Глава X. Желѣзныя и стальныя трубы. Соединенія желѣзныхъ и стальныхъ трубъ.

82. Соединенія флянцами. Различныя конструкціи флянцевъ; электрическое привариваніе флянцевъ . . . . . 266—270
83. Детальные размѣры флянцевъ для паропроводовъ высокаго давленія; Нормы Общества Нѣмецкихъ инженеровъ; Нормы Американскаго Инженера Лёвекина; размѣры флянцевъ Нью-Іоркской паровой станціи Эдиссоновской Компаніи . . . . . 270—272
84. Соединенія спирально-сваренныхъ трубъ 273
85. Соединенія желѣзныхъ и стальныхъ трубъ муфтами или раструбами . . . . . 274—275

§§ страницы

86. Соединенія муфтами на рѣзьбѣ; нераціональность обычной конструкціи такихъ соединеній; раціональныя конструкціи для давленій до 170 атмосферъ . . . . . 275—278
87. Различныя спеціальныя соединенія желѣзныхъ трубъ; Американскія удобоподвижныя соединенія . . . . . 278—281
88. О сгибаніи желѣзныхъ и стальныхъ трубъ; сгибаніе въ горячемъ и въ холодномъ состояніи; аппараты и машины для сгибанія трубъ . . . . . 281—286
89. Спиральныя желѣзныя трубы, примѣняемыя въ Америкѣ для увеличенія производительности нефтепроводовъ . . . . . 287—289
90. Примѣры поломокъ желѣзныхъ и стальныхъ трубъ . . . . . 289—291

Глава XI. Мѣдныя трубы.

91. Достоинства и недостатки мѣдныхъ трубъ; причины постепенной замѣны мѣдныхъ трубъ желѣзными и стальными при паропроводахъ высокаго давленія . . . . . 292—295
92. Изготовленіе паяныхъ, цѣльнотянутыхъ и электролитическихъ мѣдныхъ трубъ (способъ Эльмора и др.) . . . . . 295—299
93. Требованія, предъявляемыя къ матеріалу для мѣдныхъ трубъ; вліяніе отжига . . 299—300
94. Соединенія мѣдныхъ трубъ . . . . . 300—302
95. Сто пять примѣровъ поломокъ мѣдныхъ пароходныхъ паропроводныхъ трубъ за время съ 1890 по 1910 годъ . . . . . 302—314

Глава XII. Свинцовыя, гончарныя, цементныя, бетонныя, желѣзо-бетонныя, каменныя, стеклянныя и др. трубы.

96. Свинцовыя трубы . . . . . 315—317
97. Глиняныя (гончарныя) трубы; соединенія гончарныхъ трубъ; Американскіе опыты относительно герметичности соединеній такихъ трубъ . . . . . 317—321
98—99. Американскія спецификаціи для поставки и укладки канализаціонныхъ глиняныхъ трубъ . . . . . 321—327
100. Цементныя трубы . . . . . 328—329
101. Бетонныя и желѣзо-бетонныя трубы. Детальные размѣры и спецификаціи . . . . 329—334
102. Предосторожности, необходимыя при изготовленіи бетонныхъ и желѣзо-бетонныхъ трубъ . . . . . 334—336
103. Литература. Данныя для опредѣленія мертвой и подвижной нагрузки на извѣстной глубинѣ грунта. Машины для рытья канавъ . . . . . 336—339

Глава XIII. Деревянныя трубы.

104. Идея и конструкція деревянныхъ Американскихъ трубъ. Расчетъ обручей. Выгоды деревянныхъ трубъ . . . . . 340—350
105. Данныя относительно 20 исполненныхъ большихъ Американскихъ трубъ . . . . . 350—354

Глава XIV. Гибкія трубы (рукава).

106. Понятіе о рукавахъ вообще 355
107. Рукава органическіе; соединенія рукавовъ. Автоматическая сцѣпка рукавовъ на Американскихъ желѣзныхъ дорогахъ . . . . . 355—360
108. Рукава металлическіе . . . . . 360—362

Глава XV. О проектированіи фасонныхъ частей.

109. Назначеніе фасонныхъ частей. Различные виды ихъ . . . . . 363—365
110. О прочности фасонныхъ частей . . . . . 365—368
111. О нѣкоторыхъ спеціальныхъ конструкціяхъ фасонныхъ частей . . . . . 366—371
112. О прочности корпусовъ вентилей. Пятьдесятъ шесть случаевъ взрывовъ вентилей . 371—379
113. Причины взрывовъ корпусовъ вентилей; желательныя конструкціи флянцевъ; вентили съ предохранительными клапанами . . . . . 380—382

Глава XVI. Свертываніе флянцевъ сосудовъ и объ устройствѣ сосудовъ вообще.

114. О конструкціи сосудовъ и баковъ вообще . . . . . 383—385
115. Чугунные баки для воды; детали конструкціи и расчетъ . . . . . 385—388

§§ *страницы*

116. Туннели изъ чугунныхъ трубъ; детали конструкціи, понятіе о работѣ при помощи щита; подробная литература вопроса (указаніе важнѣйшихъ журнальныхъ статей, гдѣ детально описывается работа прорытія туннелей при помощи щитовъ и сборка чугунныхъ туннелей) . . . . . 388—392
117. Неправильности въ устройствѣ котельныхъ лазовъ и несчастныя послѣдствія ихъ . 392—393
118. Нѣкоторыя спеціальныя замѣчанія о различныхъ сосудахъ; неправильныя конструкціи крышекъ различныхъ химическихъ сосудовъ . . . . . 394—397
119. О взрывахъ химическихъ паровыхъ сосудовъ въ различныхъ производствахъ и о причинахъ этихъ взрывовъ . . . . . 398—400
120. Сорокъ три примѣра взрывовъ химическихъ паровыхъ сосудовъ (парильныхъ, красильныхъ, сушильныхъ и т. п.) . . . . . 400—410

Глава XVII. Компенсаторы или расширители.

121. Понятіе о компенсаторахъ. Раздѣленіе ихъ на упругіе и скользящіе . . . . . 411—412
122. Гибкіе расширители: лировидные, волнистые, изъ гибкихъ рукавовъ, тарельчатые, гибкія соединенія трубъ Маллетовскихъ паровозовъ . . . . . 412—422
123. Скользящіе и поворотные расширители. Расширители съ поступательными парами. Возможность вырыванія трубы изъ сальника и средства для избѣжанія этого несчастія. Уравновѣшенные расширители Дене, Кёнига и др. . . . . 422—430
124. Расширители съ вращательными парами. Новѣйшіе расширители Зейфферта, Андритца, Кёнига и др. съ шаровыми сочлененіями . . . . . 430—436
125. Сравненіе различныхъ родовъ расширителей. Сравнительная стоимость различныхъ типовъ расширителей . . . . . 436—439
126. Примѣры поломокъ расширителей . . . . . 439—445

Глава XVIII. Паропроводы.

127. Важнѣйшія требованія, которымъ долженъ удовлетворять паропроводъ; достаточное количество пара, малое паденіе давленія, малая потеря тепла, выборъ надлежащаго матеріала, достаточная свобода расширенія, отсутствіе вибрацій, надежное удаленіе конденсаціонной воды. Расчетъ діаметра паропровода . . . . . 446—451
128. Потеря теплоты паропроводомъ. Изоляція непроводящей массой. Опыты Эберле и ихъ результаты . . . . . 451—455
129. Матеріалы для современныхъ паропроводовъ высокаго давленія и горячаго пара. Вліяніе температуры . . . . . 455—459
130. Опоры для вертикальныхъ и горизонтальныхъ паропроводовъ . . . . . 459—465
131. Вибраціи паропроводовъ. Причины вибрацій и средства къ ихъ устраненію. Вибраціи пароотводныхъ трубъ. Электрическіе удары въ паропроводныхъ трубахъ . . . . . 465—469
132. Отдѣленіе конденсаціонной воды и отводъ ея. Сепараторы и конденсаціонные горшки. Правильныя и неправильныя расположенія трубъ. Водяной ударъ . . . . . 469—479
133. Общее расположеніе паропровода. Простая, кольцевая и двойная магистраль; выгоды и невыгоды различныхъ системъ . . . . . 480—489

Глава XIX. Краткія историческія свѣденія относительно трубъ.

134. Краткая исторія трубъ . . . . . 490—491

Прибавленія 491

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Приступая къ составленію второй части (четвертаго изданія) Атласа деталей машинъ, издаваемаго мною подъ названіемъ: „П. К. Худяковъ и А. И. Сидоровъ, Атласъ конструктивныхъ чертежей деталей машинъ“, и представляющаго переработку первыхъ двухъ изданій, выпущенныхъ моимъ дорогимъ учителемъ, П. К. Худяковымъ, и третьяго изданія, обработаннаго уже мною, я вовсе не предполагалъ давать къ этой второй части подробный объяснительный текстъ, такъ какъ вначалѣ даже и не представлялъ себѣ, чтобы одинъ отдѣлъ курса деталей машинъ, трактующій о трубахъ, могъ бы наполнить собою цѣлую часть Атласа, обнимающую 62 таблицы. Предполагалось, что чертежи, посвященные трубамъ, займутъ таблицъ 15, а далѣе пойдетъ продолженіе курса (заклепки, клинья и т. д.), и къ этимъ таблицамъ необходимыя краткія поясненія будутъ даны въ курсѣ деталей машинъ, издаваемомъ мною. Но по мѣрѣ того, какъ подвигалась работа изученія журнальной литературы, которая оказалась весьма обширной, стало съ полною очевидностію выясняться, что матеріала, и притомъ матеріала въ высшей степени интереснаго, какъ для учащагося студента или техника, такъ и для конструктора, работающаго на поприщѣ практической дѣятельности, имѣется весьма много. Испытавши лично, какую огромную работу представляетъ изъ себя по возможности полное знакомство со всѣми, наиболѣе серьезными техническими журналами и руководствами, и зная, что эту работу невозможно продѣлать инженеру, работающему на практикѣ, а съ другой стороны—помня завѣтъ моего дорогого и уважаемаго учителя, Петра Кондратьевича Худякова, о томъ, что „тѣсное знакомство съ технической литературой и разработка затронутыхъ ею вопросовъ лежатъ на обязанности преподающихъ машиностроеніе въ высшихъ техническихъ школахъ“, я не счелъ возможнымъ уклониться отъ этой обязанности, и рѣшилъ придать отдѣлу „Трубы“ въ Атласѣ достаточную полноту. И оказалось, что, даже при довольно тщательномъ выборѣ матеріала (несравненно болѣе строгомъ, нежели въ 1-й части Атласа, гдѣ я, по неопытности, увлекся и помѣстилъ много матеріала не особенно важнаго для широкихъ круговъ публики), его все таки хватило на *цѣлую часть* Атласа, на 62 таблицы, которыя и составили *вторую* часть Атласа (четвертаго изданія), законченную и выпущенную мною въ свѣтъ въ 1906 году, и носящую названіе „Трубы и ихъ соединенія“. Но, по мѣрѣ того, какъ подвигалась работа изданія этой части, я видѣлъ, что ограничиться однимъ Атласомъ—невозможно. Какъ я ни старался давать по возможности подробныя поясненія къ помѣщаемымъ въ Атласѣ фигурамъ (работа страшно тяжелая и неблагодарная, такъ какъ для того, чтобы составить маленькую надпись въ пять или шесть строкъ, приходилось перечитывать иногда цѣлую статью журнала въ 5 или 6 страницъ большого формата), все таки становилось очевиднымъ, что путемъ одного только Атласа, безъ подробнаго текста, невозможно познакомить читателей съ тѣми весьма цѣнными указаніями и данными, которыя имѣлись въ перечитываемыхъ мною статьяхъ. Съ другой стороны, обнаружился тотъ, для меня нѣсколько неожиданный фактъ, что книжная литература по трубамъ находится въ младенчествѣ, и что ни

на одномъ языкѣ, Русскомъ, Французскомъ, Англійскомъ и Нѣмецкомъ, нѣтъ ни одного сочиненія, которое могло бы удовлетворить читателя, пожелавшаго основательно ознакомиться съ различными родами трубъ и съ общими вопросами, касающимися конструкціи, изготовленія и укладки ихъ (это время относится къ 1900—1904 году). Я увидѣлъ, что многіе, основные вопросы въ дѣлѣ построенія трубъ или совершенно не затрагиваются въ существовавшихъ тогда сочиненіяхъ, или же затрагиваются весьма слабо, а многіе вопросы рѣшаются таки и прямо невѣрно. Въ обширной же журнальной литературѣ оказались нѣкоторыя статьи, дающія по этому поводу указанія, но не попадающія въ сочиненіяхъ по трубамъ, каковыхъ, къ тому же, имѣлось и весьма мало. Наконецъ, многіе вопросы и вовсе нигдѣ не затрагивались. Все это привело меня къ той мысли, что было бы весьма жаль, если бы огромная работа, продѣланная мною для составленія Атласа, при которой мнѣ пришлось пересмотрѣть около четырехъ тысячъ крупныхъ и мелкихъ журнальныхъ статей и замѣтокъ, осталась бы исключительно у меня въ головѣ, и я рѣшилъ предпринять новый трудъ, и дать къ выпущенной уже второй части Атласа „Трубы и ихъ соединенія“ подробный текстъ, въ которомъ, съ одной стороны, изложить многія подробности и привести детальныя конструктивныя и монтажныя данныя, которыя не могли быть уложены въ рамки Атласа чертежей, а съ другой стороны—попытаться рѣшить, отчасти съ помощію данныхъ, уже имѣющихся въ изученной мною литературѣ, а отчасти—совершенно самостоятельно, многіе вопросы, относящіеся къ конструированію трубопроводовъ и работѣ ихъ. Первые очерки этого труда начали складываться у меня въ головѣ въ 1905 году. Но бурныя событія, нарушившія спокойное теченіе академической и общей жизни, а затѣмъ — загроможденіе учебныхъ заведеній многочисленными пріемами студентовъ, расширенными вдвое противъ обычной нормы и потребовавшими (и требующими до сихъ поръ) отъ преподавателей усиленной работы, а также усиленныя работы по наверстыванію потеряннаго почти двухлѣтняго періода учебнаго времени—все это привело къ тому, что, въ противоположность прежнимъ годамъ, я могъ работать надъ разработкой предпринятой мною книги (текста къ 2-й части Атласа) которую я назвалъ „Трубы и ихъ соединенія“ только въ теченіи лѣтняго каникулярнаго времени. Частыя болѣзни препятствовали мнѣ работать во время Рождественскихъ и отчасти Пасхальныхъ каникулъ, и результатомъ этого явилось то, что работа, первыя главы которой начаты были мною въ 1906 году, могла быть окончена только въ 1912 году. Въ извиненіе такого запозданія работы, выходъ въ свѣтъ которой былъ печатно обѣщанъ къ гораздо болѣе раннему сроку, я и позволилъ себѣ войти здѣсь въ нѣкоторыя подробности личнаго свойства, какъ, съ одной стороны, для того, чтобы извинить поздній выходъ книги въ свѣтъ, такъ, съ другой, и для того, чтобы объяснить нѣкоторыя неровности и негладкости въ планѣ книги, такъ какъ книга эта понемногу писалась и составлялась въ теченіи семи лѣтъ. За это время и литература нѣсколько ушла впередъ. Во время составленія и печатанія книги появились нѣкоторыя сочиненія, которыя отчасти пополнили тотъ пробѣлъ, который былъ весьма замѣтенъ въ 1900—1904 годахъ. Нѣкоторыми изъ этихъ новыхъ работъ я еще успѣлъ воспользоваться, а на нѣкоторыя—могъ только сдѣлать ссылки въ текстѣ, но всѣ эти работы нисколько не заставили меня измѣнить принятыхъ мною вначалѣ взглядовъ на многіе вопросы, связанные съ построеніемъ трубопроводовъ.

Послѣ этого отступленія перечислю теперь тѣ главнѣйшіе вопросы, по которымъ я считалъ необходимымъ или изложить матеріалъ, имѣющійся въ литературѣ, или же которые необходимо было разработать самому.

Весьма важнымъ вопросомъ въ дѣятельности инженера или техника являются *спецификаціи*, или техническія условія на поставку и изготовленіе различныхъ техническихъ издѣлій, а также на сборку, укладку ихъ и т. п. Техническая школа, и высшая и средняя, страшно грѣшитъ въ этомъ отношеніи. Отчасти вслѣдствіе загроможденія программы высшей школы массой предметовъ, отчасти вслѣдствіе увлеченія предметами „научнаго“ характера въ противоположность „ненаучнымъ“, разсмотрѣніе

техническихъ условій изготовленія, пріемки и сборки матеріала почти не находитъ себѣ мѣста въ курсахъ высшихъ техническихъ школъ *. Между тѣмъ, вопросъ этотъ въ высшей степени важенъ для практики, и роль молодого (а иногда даже и не молодого, но мало опытнаго въ подобномъ дѣлѣ) техника, которому приходится безъ подготовки столкнуться съ этимъ дѣломъ, бываетъ въ высшей степени жалкая. Многіе знаютъ это по личному опыту. Между тѣмъ, важность — составить такія техническія условія, чтобы постройка была вполнѣ обезпечена отъ умышленной или неумышленной неисправности поставщиковъ, и чтобы условія или контрактъ были написаны такъ, чтобы вполнѣ ясно были указаны границы требованій и обязательствъ—весьма велика. Но литература Русская по этому вопросу весьма бѣдна, тогда какъ за границей вопросы эти отлично разработаны и многіе Американскіе спецификаціи и контракты являются образцами какъ съ технической такъ и съ юридической точки зрѣнія **. Имѣется даже цѣлая книга, необычайно цѣнная для всякаго лица, которому приходится имѣть дѣла съ такими вопросами. Эта книга Американскаго профессора Джонсона, подъ названіемъ

Engineering Contracts and Specifications,
by J. B. Jonson, C. E.

Она содержитъ въ себѣ спецификаціи на поставку и укладку, постройку и т. п. всевозможныхъ техническихъ предметовъ (машины паровыя, насосы, котлы, трубы, желѣзныя соруженія, бетонныя, каменныя, земляныя и т. п. работы) и является неоцѣненнымъ пособіемъ для строющаго и заказывающаго инженера и техника, давая какъ чисто техническія спецификаціи, такъ и массу контрактовъ, интересныхъ съ чисто юридической точки зрѣнія. Изъ этой превосходной книги мною взяты спецификаціи на поставку и укладку глиняныхъ трубъ и нѣкоторыя другія.

Имѣя въ виду сказанное, я, можетъ быть даже и съ излишкомъ, входилъ въ особенныя подробности по вопросамъ техническихъ условій и привелъ ихъ весьма большое количество для разныхъ трубъ. Лучше пусть будетъ избытокъ въ этомъ отношеніи; молодому технику будетъ изъ чего выбирать, у него будетъ матеріалъ для самостоятельнаго сужденія. Худо, если *ничего не будетъ* подъ рукою, какъ это имѣлъ случай въ молодости испытывать и я на себѣ лично.

Вовторыхъ, я счелъ необходимымъ дать многія подробности по поводу производства различныхъ сложныхъ работъ. Съ развитіемъ техники и у насъ въ Россіи стали чаще встрѣчаться работы и туннельныя, и подводныя и т. п. Поэтому, я привелъ изъ Американскихъ и Англійскихъ журналовъ (Нѣмецкая литература гораздо болѣе скупа въ этомъ отношеніи) многочисленныя подробныя описанія производства работъ по укладкѣ трубъ подъ водою, по прокладкѣ трубчатыхъ туннелей, или же давалъ подробную литературу такихъ вопросовъ.

Далѣе, многія вещи являлись для Россіи просто новинками, и какъ таковыя должны были найти мѣсто въ книгѣ. Къ числу такихъ интересныхъ новинокъ относятся, напримѣръ: желѣзныя трубы Мефана Фергюсона съ зажимными брусками, электролитическія трубы Эльмора и др., желѣзо-бетонныя трубы, деревянныя трубы, чугунные баки, подземные чугунные туннели и др.

Затѣмъ, неоднократно уже я имѣлъ случай указывать, что примѣры отрицательнаго характера, по своему психологическому воздѣйствію на читателя, часто являются гораздо болѣе сильными средствами, нежели простыя сухія указанія положительнаго характера, не подкрѣпленныя примѣрами изъ жизни. Проводя этотъ принципъ, я

---

* не могу здѣсь съ благодарностію не вспомнить моихъ уважаемыхъ учителей, а теперь сослуживцевъ, проф. Худякова и Гавриленко, которые въ своихъ курсахъ удѣляли этому вопросу посильное вниманіе и заронили въ насъ, своихъ учениковъ, сознаніе важности этого вопроса.

** чтобы убѣдиться въ этомъ, стоитъ только просмотрѣть, напримѣръ, приводимыя мною на стр. 321—327 спецификаціи для поставки и укладки гончарныхъ трубъ.

выбралъ изъ литературы болѣе 200 примѣровъ поломокъ различныхъ трубъ, вентилей и сосудовъ, и привелъ ихъ, нѣкоторые весьма подробно, такъ какъ изъ разсмотрѣнія и сравненія этихъ поломокъ получаются весьма поучительные и интересные результаты, какъ это имѣетъ мѣсто съ поломками корпусовъ вентилей (стр. 373 — 382) и съ поломками сосудовъ различныхъ химическихъ производствъ. Здѣсь сама жизнь учитъ тому, что̀, a priori, вывести было бы довольно трудно.

Наконецъ, многіе вопросы конструктивнаго характера мнѣ пришлось или разбирать совершенно вновь, или же указывать весьма большія неточности въ обычныхъ рѣшеніяхъ ихъ, имѣющихся въ существующихъ сочиненіяхъ по трубамъ. Къ числу подобныхъ вопросовъ относятся: вопросъ о наивыгоднѣйшемъ числѣ соединеній трубъ на данной длинѣ, вопросы объ обстоятельствахъ, обезпечивающихъ герметичность, о смѣщающихъ силахъ, о толщинѣ стѣнки трубы, о прочности флянцевъ, о напряженіяхъ въ затянутыхъ болтахъ, о прочности сосудовъ и др.

Относительно пользованія литературою я долженъ сдѣлать слѣдующее замѣчаніе. Ввиду того, что иностранные языки и сейчасъ въ Россіи для многихъ, даже окончившихъ высшія учебныя заведенія, не являются близко знакомыми, я отдавалъ предпочтеніе тѣмъ свѣденіямъ, которыя имѣются въ иностранной литературѣ, и которыхъ нельзя достать на Русскомъ языкѣ (да, кромѣ того, гдѣ, исключая крупные города, въ которыхъ имѣются высшія учебныя заведенія, найдетъ инженеръ или техникъ библіотеку съ десятками иностранныхъ журналовъ и тысячами иностранныхъ книгъ?). Такимъ образомъ, возможенъ мнѣ упрекъ, что Русская литература не использована въ книгѣ достаточно полно. На это я возражать не буду, но только скажу: по Русски всякій можетъ прочесть все, что̀ ему нужно, и достать, собрать же съ достаточною полнотою матеріалъ изъ иностранной литературы можно только зная не менѣе трехъ языковъ и просидѣвъ не менѣе 10 лѣтъ, а это инженеру работающему на практикѣ— невозможно. Надо, чтобы эту работу продѣлалъ кто нибудь разъ навсегда. Я попытался продѣлать эту работу для трубъ. Въ Россіи въ настоящее время только начинаютъ развиваться водопроводныя и канализаціонныя работы и въ этомъ направленіи дѣла предстоитъ еще весьма много (по статистикѣ 1910 года въ Россіи изъ 1082 городовъ только 192 имѣютъ водопроводъ и только 38—канализацію) и я надѣюсь, что моя работа — собрать въ одномъ сочиненіи важнѣйшія имѣющіяся до сихъ поръ данныя по трубамъ — окажется не безполезною для Русскихъ техниковъ. Паровыя установки въ Россіи тоже теперь начинаютъ устраиваться въ большихъ количествахъ и къ нимъ предъявляются болѣе серьезныя требованія, а потому и въ области паропроводовъ техникамъ представляется надобность — познакомиться съ тѣмъ, что̀ въ этой области сдѣлано за послѣднее время.

Скажу теперь вкратцѣ о содержаніи каждой изъ главъ книги.

Въ главѣ I говорится о давленіи жидкости. Такъ какъ курсъ деталей машинъ проходится ранѣе, нежели гидростатика и гидравлика, и такъ какъ даже въ курсахъ технической гидростатики не вездѣ достаточно подробно говорится о давленіи жидкости, то я счелъ полезнымъ написать для студентовъ эту главу. Въ ней сперва устанавливается понятіе о давленіи жидкости, о единицѣ давленія, и затѣмъ разбирается вопросъ, который встрѣчается при изученіи трубъ на каждомъ шагу, именно — вопросъ о давленіи жидкости на *кривую* стѣнку, разборъ котораго имѣется далеко не во всѣхъ курсахъ гидростатики. Во всякомъ случаѣ, глава эта является весьма полезною и для цѣльности изложенія и для тѣхъ учащихся, которымъ не пришлось познакомиться ранѣе съ гидростатикой; благодаря ей устраняются такія явленія, какъ полное незнаніе студентами, сдающими экзаменъ по деталямъ машинъ, того, что̀ такое давленіе одной атмосферы и т. п.

Въ главѣ второй подробно разбирается вопросъ о прочности стѣнокъ трубы. Вопросъ этотъ во всѣхъ курсахъ деталей машинъ и даже въ сочиненіяхъ по водопроводному дѣлу излагается чрезвычайно кратко, и даже неправильно, такъ какъ

не раздѣляются два различные момента жизни трубы, именно, когда она подвержена внутреннему разрывающему давленію, и когда она подвержена только наружному сплющивающему давленію. Благодаря такому смѣшенію обстоятельствъ работы трубы были установлены формулы, которыя и до сихъ поръ приводятся во всѣхъ курсахъ машиностроенія, и которыя, нерѣдко, даютъ слишкомъ большую толщину стѣнокъ трубы, совсѣмъ ненужную въ дѣйствительности. Заслуга — указать впервые, какъ дѣйствительно должна опредѣляться необходимая и достаточная толщина стѣнокъ трубы, принадлежитъ Американскому инженеру Крафтсу, и поэтому на его принципъ и дѣлается указаніе при окончательномъ опредѣленіи толщины стѣнокъ трубы. Заслуга же — популяризировать въ Россіи взгляды Крафтса — принадлежитъ нашему дорогому товарищу— технику Императорскаго Техническаго Училища, Николаю Петровичу Зимину.

Слѣдуетъ сказать еще, что предположенное на стр. 55 книги подробное разсмотрѣніе формулъ толщины стѣнки, сдѣланное Крафтсомъ, я счелъ болѣе удобнымъ потомъ исключить, ограничиваясь ссылкою на оригиналъ.

При разсмотрѣніи вопроса о прочности толстостѣнной трубы я обращаю вниманіе на то, что обычная формула для прочности толстостѣнныхъ трубъ, приводимая во всѣхъ новыхъ Нѣмецкихъ курсахъ, не является правильной, такъ какъ она выведена для того случая, когда имѣется и продольная разрывающая сила вдоль трубы; между тѣмъ, это далеко не всегда имѣетъ мѣсто, и нерѣдко встрѣчаются случаи, гдѣ такой силы нѣтъ, такъ какъ труба по концамъ крышекъ и заворотовъ не имѣетъ, а въ такомъ случаѣ необходимо пользоваться формулою Ламѐ, которая и выводится мною весьма простымъ путемъ.

Глава III, вводная, представляетъ переработку изъ книги проф. Фидлера, и дополняетъ то, что вкратцѣ было написано мною о смѣщающихъ силахъ ранѣе, нежели я познакомился съ этой превосходной книгою.

О работахъ И. А. Калинникова, повторившаго, по моей просьбѣ, опыты Фидлера съ вырываніемъ раструбовъ, но въ несравненно болѣе широкихъ размѣрахъ, сказано въ прибавленіи, въ концѣ книги.

Въ главѣ IV устанавливается понятіе о герметичности; хотя вопросъ этотъ самъ по себѣ очень простъ и ясенъ, но именно установленія яснаго понятія о томъ, отчего зависитъ герметичность, и не имѣется нигдѣ въ сочиненіяхъ, трактующихъ о трубахъ.

Въ главѣ V разсматриваются подробно всѣ общія соображенія относительно конструированія различныхъ соединеній трубъ. Практика и литература дали для этого весьма богатый матеріалъ, который оставалось только обработать. Здѣсь пришлось относиться критически къ существующимъ пріемамъ приближеннаго расчета флянцевъ, а вопросъ о полной нагрузкѣ на затянутые предварительно болты мнѣ пришлось разрабатывать совершенно самостоятельно, и удалось, хотя и съ приближеніями, но показать вполнѣ наглядно, простыми формулами, отчего зависитъ разрѣшеніе этого вопроса въ дѣйствительности, и какъ вліяетъ добавочная нагрузка отъ первоначальной затяжки болта на полное напряженіе въ немъ въ то время, когда флянцы и болты подвергаются и давленію жидкости.

Въ главѣ VI разсматриваются подробно чугунныя и стальныя литыя трубы и ихъ соединенія. Здѣсь опять литература доставила весьма богатый матеріалъ, который пришлось только систематизировать и обработать.

Въ главѣ VII описаны наиболѣе интересныя поломки чугунныхъ трубъ, о важности знакомства съ которыми уже говорилось ранѣе, и приведены крайне интересныя статистическія данныя, собранныя инженеромъ Литтеномъ по вопросу о поломкахъ чугунныхъ водо- и газопроводныхъ трубъ, показывающія, насколько желѣзныя трубы являются болѣе безопасными для жизни и здоровія людей, нежели чугунныя.

Въ главѣ VIII разсматриваются клепаныя трубы и трубы съ зажимными брусками Мефана Фергюсона.

Въ главѣ IX говорится о сварныхъ и цѣльнотянутыхъ трубахъ и описываются главнѣйшіе способы изготовленія такихъ трубъ: относительно изготовленія такъ называемыхъ Манесманнновскихъ трубъ, на основаніи личнаго осмотра завода въ Ратѣ (возлѣ Дюссельдорфа), мнѣ приходится опровергнуть тѣ странныя указанія, которыя до сихъ поръ даются почти вездѣ (даже въ Нѣмецкихъ сочиненіяхъ), именно, что по способу косой прокатки Маннесманна получаются готовыя трубы и даже съ перемѣннымъ сѣченіемъ и толщиною, тогда какъ трубы получаются на особомъ станкѣ, „Пильгервальценъ“.

Въ главѣ X говорится о соединеніяхъ желѣзныхъ и стальныхъ трубъ; особенное вниманіе обращено на соединенія трубъ для высокаго давленія (Нормы Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ и Американскія Нормы Лёвекина) и на соединенія муфтами на рѣзьбѣ, а также на вопросъ о *сгибаніи* желѣзныхъ трубъ.

Въ главѣ XI разсматриваются мѣдныя трубы. Эта глава, вѣроятно, и въ настоящее время еще вызоветъ возраженія у защитниковъ мѣдныхъ трубъ, которые находятся и теперь, не смотря на то, что вопросъ о непригодности мѣдныхъ трубъ для современныхъ паропроводовъ высокаго давленія, а тѣмъ болѣе для перегрѣтаго пара, выясненъ уже въ технической литературѣ настолько полно и ясно, что нужно только удивляться, какъ до сихъ поръ нѣкоторые почтенные инженеры все таки защищаютъ мѣдныя трубы. Для полной наглядности я собралъ всѣ случаи поломокъ мѣдныхъ трубъ Англійскаго флота за послѣдніе 20 лѣтъ, и эта сводка должна служить живымъ примѣромъ того, насколько опасными и непригодными являются въ настоящее время мѣдныя трубы для значительныхъ паропроводовъ высокаго давленія.

Глава XII посвящена свинцовымъ, гончарнымъ, цементнымъ, бетоннымъ и желѣзо-бетоннымъ трубамъ. Такъ какъ при началѣ книги я имѣлъ въ виду все таки, главнымъ образомъ, трубы *металлическія*, то въ этой главѣ я относительно, напр., цементныхъ и бетонныхъ трубъ ограничился лишь наиболѣе важнымъ, отсылая за подробностями въ литературу, которая, по возможности, указана.

Деревянныя трубы, которымъ отведена глава XIII, являются весьма интересными сами по себѣ, съ конструктивной точки зрѣнія, а затѣмъ, по моему, у насъ въ Россіи, гдѣ во многихъ мѣстахъ имѣются огромные лѣса и степи, совершенно такъ же, какъ и въ Америкѣ, такія трубы, въ силу указанныхъ въ книгѣ удобствъ ихъ, могли бы найти самое широкое распространеніе.

Въ главѣ XIV говорится о рукавахъ, или гибкихъ трубахъ. Изготовленіе гибкихъ рукавовъ описано мною вкратцѣ, на основаніи личнаго осмотра завода въ Пфорцгеймѣ. Воспользоваться для болѣе подробнаго описанія статьею въ Журналѣ Нѣмецкихъ инженеровъ за 1911 годъ я уже не могъ, такъ какъ этотъ листъ книги былъ уже законченъ.

О проектированіи *фасонныхъ частей* и арматуры всѣ курсы и книги благоразумно умалчиваютъ, или даютъ лишь отрывочныя краткія указанія. Ввиду этого я съ особенною тщательностью старался найти въ литературѣ что либо по этому вопросу. Матеріала нашлось достаточно, но преимущественно въ видѣ изложенія результатовъ горькаго опыта—поломокъ, взрывовъ и пр. На основаніи этихъ свѣденій мнѣ удалось составить въ связномъ изложеніи главы XV и XVI. Въ главѣ XV говорится о проектированіи фасонныхъ частей, хотя положительныхъ, *числовыхъ* указаній для этого собрать все таки не удалось. Но общія соображенія выяснены достаточно подробно. Изъ арматуры я ограничился разсмотрѣніемъ вопроса о прочности корпусовъ вентилей, и многочисленные случаи взрывовъ позволили вывести вполнѣ опредѣленныя заключенія.

Въ тѣсной связи съ вопросомъ о фасонныхъ частяхъ стоитъ вопросъ и объ устройствѣ сосудовъ вообще, разъ эти сосуды, подобно трубамъ, тоже соединяются на флянцахъ. Ввиду того, что и на эту тему нѣтъ нигдѣ связно изложеннаго разсмотрѣнія вопроса, а имѣются лишь отрывочныя указанія, я присоединилъ къ книгѣ

главу XVI, о свертываніи флянцевъ сосудовъ и объ устройствѣ сосудовъ вообще, ограничившись наиболѣе важными предметами, именно: чугунными баками для воды, чугунными трубчатыми туннелями и химическими сосудами. Кстати указано на одну роковую ошибку въ конструкціи котельныхъ лазовъ, стоившую уже жизни не одному десятку людей. Баки и химическіе сосуды разобраны подробно, относительно же туннелей богатый матеріалъ, съ размѣрами частей, имѣется въ *Атласѣ*; здѣсь же, въ текстѣ, указано только самое главное, но зато приведена подробная Англійская и Американская журнальная литература по этому вопросу.

Въ главѣ XVII изложены компенсаторы или расширители. По этому вопросу имѣется много матеріала и въ книгахъ и въ журналахъ и глава эта отличается отъ таковыхъ же въ другихъ сочиненіяхъ, главнымъ образомъ, лишь большею полнотою и разнообразіемъ описанныхъ въ ней конструкцій. Не безинтересной является составленная мною діаграмма сравнительной стоимости различныхъ родовъ расширителей. Примѣры поломокъ расширителей тоже приведены здѣсь.

Наконецъ, въ главѣ XVIII говорится о паропроводахъ. Глава эта совершенно не входила въ предположенный мною сначала планъ книги. Но, ввиду сильнаго развитія за послѣдніе годы большихъ паропроводовъ высокаго давленія и для перегрѣтаго пара, появились настолько серьезныя особенности, отличающія современный паропроводъ отъ того, какой имѣлся 20 и даже 10 лѣтъ тому назадъ, что построеніе паропроводовъ перестало быть чѣмъ то второстепеннымъ и неважнымъ, чѣмъ, между прочимъ, приходится тоже заниматься при установкѣ паровой машины и котла, какъ то было раньше. Паропроводъ сталъ новою, отдѣльною областью техники, требующею своихъ спеціалистовъ, и даже своихъ особыхъ заводовъ, исключительно занимающихся изготовленіемъ и постановкой серьезныхъ паропроводовъ. Вслѣдствіе этого, я счелъ потомъ необходимымъ прибавить эту послѣднюю главу, въ которой отчасти резюмируется все то, что уже раньше было сказано въ книгѣ относительно паропроводныхъ трубъ, отчасти же даются нѣкоторыя добавочныя свѣденія, имѣющія значеніе для построенія паропровода высокаго давленія и тѣмъ болѣе для перегрѣтаго пара. Составленіе этой главы было мнѣ облегчено, вопервыхъ, выходомъ въ 1909 году въ свѣтъ превосходной книги „Rohrleitungen“, изданной фирмою „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“ въ Берлинѣ, и представляющею прекрасное руководство къ изученію современныхъ паропроводовъ, а во вторыхъ крайне любезнымъ и полезнымъ содѣйствіемъ мнѣ какъ со стороны названной сейчасъ фирмы „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“ такъ и со стороны Берлинской же фирмы Fraz Seiffert & Co. Обѣ фирмы спеціализировались на построеніи современныхъ паропроводовъ высокаго давленія и, благодаря чрезвычайно любезному содѣйствію какъ Русскихъ представителей названныхъ фирмъ, инженера А. М. Эрлиха и инженера Ф. В. Дребелова, такъ и самого владѣльца одной фирмы, Г-на Ф. Зейфферта, и директора другой, Г-на Теодора Шварца, я имѣлъ возможность во время пребыванія въ Германіи лично познакомиться у обѣихъ фирмъ съ изготовленіемъ трубъ, и даже осмотрѣть связанные съ фирмами другіе заводы. Кромѣ того, обѣ фирмы крайне любезно и съ полною откровенностію снабдили меня чертежами крупныхъ и мелкихъ исполненныхъ ими паропроводовъ, описаніями, фотографіями, образцами и пр., которыя пригодились мнѣ при разработкѣ послѣднихъ главъ книги. За такое любезное и крайне для меня полезное содѣйствіе считаю здѣсь своимъ долгомъ принести обѣимъ названнымъ фирмамъ и ихъ представителямъ мою искреннюю и глубокую благодарность.

Всѣ важнѣйшія обстоятельства конструированія паропроводовъ разсмотрѣны въ главѣ XVIII; я избѣгалъ только входить въ подробныя описанія деталей паропроводовъ: вентилей, сепараторовъ, отводчиковъ воды и пр., такъ какъ это завело бы слишкомъ далеко и, такъ какъ въ литературѣ можно найти по этому вопросу достаточно указаній. И безъ того объемъ книги слишкомъ разросся противъ первоначально предположеннаго.

С.-ПЕТЕРБУРГСКІЙ КРУЖОКЪ ТЕПЛОТЕХНИКОВЪ И.И.Т.У.

Относительно внѣшней стороны изданія и обозначеній необходимо сказать слѣдующее.

За единицы вѣса и длины въ книгѣ, какъ и въ *Атласѣ*, вездѣ приняты *килограммъ* и *миллиметръ*, если не сдѣлано особыхъ указаній. Поэтому, всѣ размѣры, поставленныя на чертежахъ книги, выражены въ миллиметрахъ, если не сдѣлано особой оговорки, или не поставлены при числахъ извѣстные условные значки ′ и ″, обозначающіе футы и дюймы. При этомъ *футы и дюймы понимаются вездѣ Англійскіе;* точно также, вездѣ въ книгѣ, гдѣ говорится: фунтъ, понимается Англійскій фунтъ. Силы и напряженія выражены вездѣ въ килограммахъ и килограммахъ на □ миллиметръ; въ нѣкоторыхъ мѣстахъ удержаны Англійскія мѣры: фунты. Если въ формулахъ не сдѣлано оговорокъ или указаній, то размѣры въ такихъ формулахъ выражены въ миллиметрахъ, силы въ килограммахъ, а напряженія—въ килограммахъ на □ миллиметръ.

При изготовленіи чертежей я не хотѣлъ пестрить книгу чертежами самаго разнообразнаго характера исполненія, и поэтому, за весьма немногими исключеніями, всѣ чертежи, которые пришлось заимствовать изъ другихъ источниковъ (книгъ, журналовъ) *перечерчены вновь* рукою одного и того же чертежника, моего неизмѣннаго помощника, И. Ф. Маслова, такъ что всѣ чертежи носятъ совершенно одинъ и тотъ же характеръ и стиль исполненія, что̀ значительно способствуетъ внѣшнему благообразію книги, такъ какъ нѣтъ, по моему, ничего хуже книги, въ которой на одной и той же страницѣ стоятъ рядомъ два чертежа, причемъ на одномъ изъ нихъ линіи впятеро толще, чѣмъ на другомъ и т. п. Правда, такое перечерчиваніе нѣсколько удорожаетъ книгу, но за то внѣшность книги и удобство пользованія чертежами значительно выигрываютъ.

Довольно много чертежей мнѣ пришлось сдѣлать самому, совершенно оригинальныхъ. Всѣ набросанные мною эскизы были затѣмъ перечерчены И. Ф. Масловымъ на бѣло и съ этихъ оригиналовъ сняты клише. Такимъ образомъ, всѣ чертежи книги носятъ одинъ характеръ.

Вездѣ, гдѣ въ книгѣ сдѣланы ссылки просто на „*Атласъ*“, подъ этимъ „*Атласомъ*“ надо понимать изданное мною въ 1906 году сочиненіе:

П. К. ХУДЯКОВЪ и **А. И. СИДОРОВЪ,** профессора Императорскаго Техническаго Училища.

АТЛАСЪ КОНСТРУКТИВНЫХЪ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИНЪ.

Изданіе четвертое, часть 2-я.

ТРУБЫ И ИХЪ СОЕДИНЕНІЯ.

Относительно штриховокъ на чертежахъ книги необходимо замѣтить слѣдующее. Тамъ, гдѣ указаніе матеріала детали имѣло значеніе, или гдѣ по оригиналу возможно было узнать, каковы матеріалы, вездѣ различные матеріалы заштрихованы различными штриховками, и именно тѣми самыми штриховками, которыя приняты и въ моемъ Атласѣ деталей машинъ, и значеніе которыхъ показано въ предисловіи ко 2-й части *Атласа*. Всѣ такіе чертежи отмѣчены надписію (въ скобкахъ): „штриховки *Атласа*“. Тамъ же, гдѣ такихъ надписей не имѣется, штриховки выбирались произвольно и судить по нимъ о матеріалѣ детали не слѣдуетъ и нельзя, а необходимо обращаться къ тексту книги.

А. Сидоровъ.

ОПЕЧАТКИ:

Стр.	Строка	*Напечатано:*	*Должно быть:*
4	2 снизу	F_0	F
16	10 сверху	$\frac{T}{L}$	$\frac{T}{l}$

ГЛАВА I.

Основныя понятія о давленіи жидкости.

§ 1. Въ Теоретической Механикѣ принято почти всѣми профессорами, излагающими ее, и почти всѣми авторами, пишущими о ней, представлять себѣ дѣйствія тѣлъ одно на другое въ видѣ такъ называемыхъ *сосредоточенныхъ* силъ *, которыя и принято изображать въ видѣ линіи, со стрѣлою на концѣ. Однако, на самомъ дѣлѣ такихъ силъ въ природѣ *вовсе нѣтъ*, и подобный способъ разсмотрѣнія и изложенія долженъ быть названъ по меньшей мѣрѣ устарѣлымъ; во всякомъ случаѣ, для инженера, который принужденъ имѣть дѣло не съ фиктивными тѣлами, которыя удобно вообразить себѣ ученому въ кабинетѣ, но съ дѣйствительными, реальными тѣлами природы, тотъ упрощенный способъ разсмотрѣнія дѣйствія силъ, который царитъ въ большинствѣ курсовъ Теоретической Механики, совершенно не годится, и долженъ быть замѣненъ разсмотрѣніемъ дѣйствительнаго дѣйствія силъ, которое и составляетъ предметъ

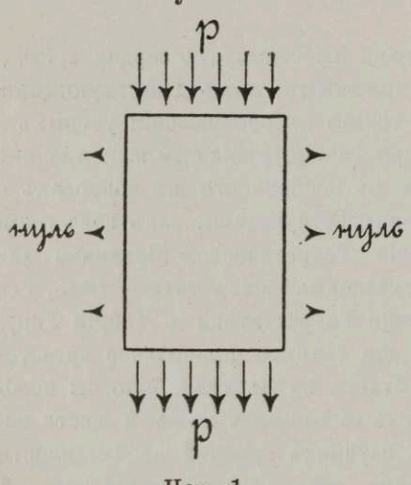
* представляющихъ собою столь излюбленныя многими авторами любезныя ихъ сердцу „*равнодѣйствующія*“. Инженеръ и, вообще, техникъ долженъ помнить, что **никакихъ равнодѣйствующихъ въ дѣйствительности, въ природѣ, *нѣтъ***, и что онѣ существуютъ только въ воображеніи ученыхъ и употребляются иногда съ пользою лишь для простоты изложенія. Но при разсмотрѣніи *дѣйствительныхъ* явленій въ тѣлахъ, изслѣдованіемъ которыхъ занимается инженеръ, и въ особенности въ вопросахъ о прочности этихъ тѣлъ и т. п., инженеръ не можетъ пользоваться равнодѣйствующими, такъ какъ тогда онъ получитъ сплошной рядъ нелѣпостей. Къ сожалѣнію, при изложеніи Теоретической Механики для техниковъ большинство авторовъ прибѣгаетъ къ разсмотрѣнію распредѣленныхъ силъ только тамъ, гдѣ ихъ заставляетъ сдѣлать это уже крайняя нужда, именно при изложеніи Гидростатики и Теоріи Упругости. Между тѣмъ, для того, чтобы укрѣпить у будущаго инженера или техника правильное представленіе о *реальныхъ явленіяхъ* въ тѣлахъ природы, съ которыми онъ будетъ имѣть дѣло, было бы необходимо съ самаго начала говорить, что *никакихъ сосредоточенныхъ силъ въ природѣ нѣтъ* и вести изложеніе всей механики именно въ такомъ духѣ, прибѣгая только въ случаяхъ крайней необходимости къ фиктивному понятію о равнодѣйствующей; между тѣмъ, теперь какъ разъ дѣлается наоборотъ. А сколько смущенія доставляетъ учащемуся уже самая простая знаменитая теорема, извѣстная изъ курса „элементарной механики“ (проходимаго, къ сожалѣнію, даже въ средней школѣ, какъ отдѣлъ физики, наряду съ „простыми машинами“ и прочими подобными идіотствами), о томъ, что „силу можно переносить по направленію ея дѣйствія“, когда ему поставишь на видъ, что, стало быть, все равно, что повѣсить грузъ на концѣ веревки, что у мѣста ея закрѣпленія въ потолкѣ? Все равно, веревка натянется? Чтобы не вносить смущенія въ юныя души, слѣдовало бы профессорамъ механики *съ первой же лекціи* говорить о томъ, что черезъ тѣла природы то, что̀ мы называемъ силою, передается не какимъ то невѣдомымъ волшебнымъ путемъ, а передается по всей массѣ тѣла, вызывая *въ каждомъ мѣстѣ его* соотвѣтствующія измѣненія формы и напряженія.

Теперь же это приходится дѣлать профессорамъ Сопротивленія Матеріаловъ или, вообще, первыхъ техническихъ предметовъ, становясь какъ бы въ противорѣчіе съ тѣмъ первымъ приближеніемъ къ дѣйствительнымъ явленіямъ природы, которое уже преподано студенту подъ названіемъ Теоретической Механики и разъясняя ему, что̀ изъ этого приближенія примѣнимо и что̀ — нѣтъ. Это ведетъ ко многимъ нежелательнымъ недоразумѣніямъ.

хорошихъ курсовъ *Технической* Механики, хотя, къ сожалѣнію, въ программахъ Русскихъ Техническихъ Учебныхъ Заведеній *такого предмета совершенно нѣтъ*.

Такимъ образомъ, инженеръ и техникъ не должны упускать изъ виду, что въ дѣйствительности *никакихъ сосредоточенныхъ силъ*, которыми такъ изобилуютъ курсы Теоретической Механики, **нѣтъ**. Лишь въ весьма рѣдкихъ случаяхъ дѣйствительности и еще въ болѣе рѣдкихъ случаяхъ техники, два тѣла прикасаются одно къ другому въ одной точкѣ, какъ принято говорить—а на самомъ дѣлѣ по весьма малой поверхности—и въ этихъ случаяхъ можно считать дѣйствіе одного тѣла на другое приложеннымъ въ одной точкѣ (на самомъ дѣлѣ на поверхности, хотя и весьма малой) и говорить о сосредоточенной силѣ. Въ огромномъ же большинствѣ случаевъ одно тѣло прикасается къ другому по нѣкоторой поверхности, и дѣйствіе одного тѣла на другое всегда *распредѣляется* на нѣкоторую поверхность. Когда затѣмъ это дѣйствіе внѣшняго тѣла на разсматриваемое переходитъ внутрь разсматриваемаго тѣла, то и тамъ оно *распространяется на всѣ частицы этого тѣла*, распредѣляется на нихъ, и потому въ дѣйствительности мы всегда имѣемъ дѣло съ силами, распредѣленными на всѣ, или только на часть частицъ тѣла, а если разсматривать сѣченія тѣла, дѣйствительныя или фиктивныя — все равно — то съ силами, распредѣленными извѣстнымъ образомъ по извѣстнымъ сѣченіямъ тѣла. О *такихъ только* силахъ и надобно говорить технику, и съ *такими силами* учить его обращаться. Къ сожалѣнію, какъ уже сказано, курсы Теоретической Механики поступаютъ какъ разъ наоборотъ, и лишь въ нѣкоторыхъ, сравнительно малочисленныхъ сочиненіяхъ по *Технической* Механикѣ (къ числу которыхъ относится напр. превосходное, старое, но ничуть не устарѣвшее сочиненіе знаменитаго Ранкина „Руководство для инженеровъ-строителей“) изложеніе ведется въ томъ духѣ, какъ нужно для инженера и распредѣленнымъ силамъ отводится надлежащее мѣсто.

Всякое дѣйствіе какого нибудь внѣшняго тѣла, скажемъ I, на разсматриваемое тѣло, скажемъ II, все равно, производится ли это дѣйствіе нѣкоторымъ непонятнымъ намъ пока путемъ съ извѣстнаго разстоянія, или же болѣе простымъ и понятнымъ способомъ, именно, непосредственнымъ соприкосновеніемъ, передается затѣмъ внутрь разсматриваемаго тѣла II, распространяясь на всѣ его частицы, или же иногда лишь на часть ихъ, и результатъ этого дѣйствія проявляется внутри тѣла въ видѣ такъ называемыхъ *напряженій* или *давленій*.



Чер. 1.

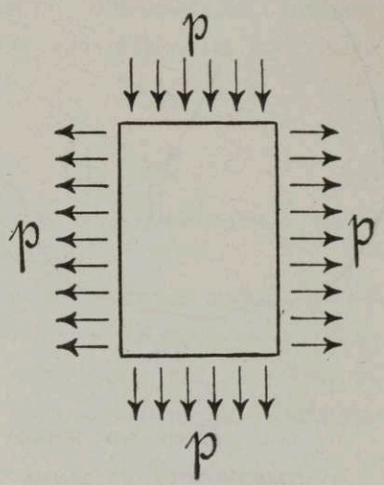
Для простоты разсмотрѣній различаютъ, какъ первое приближеніе, тѣла *абсолютно твердыя* и тѣла *совершенно жидкія*.

Абсолютно твердое тѣло характеризуется слѣдующимъ. Если мы вырѣжемъ изъ такого тѣла прямоугольный параллелепипедъ, или же только выдѣлимъ его мысленно (чер. 1), то, если мы на какую-нибудь грань этого параллелепипеда произведемъ давленіе, т. е. приложимъ къ ней нѣкоторыя силы, для простоты, положимъ, распредѣленныя равномѣрно по этой грани, то по направленію своего дѣйствія, т. е. по направленію, перпендикулярному къ грани, силы эти передадутся вглубь тѣла безъ малѣйшаго измѣненія или потери на произвольное разстояніе, какъ бы ни было велико протяженіе тѣла по этому направленію. По направленіямъ же, перпендикулярнымъ къ этому направленію, т. е. по направленіямъ, параллельнымъ грани, къ которой приложены силы, никакихъ силъ не разовьется.

Твердыя тѣла, имѣющіяся въ природѣ, приближаются въ значительной степени къ такимъ идеальнымъ тѣламъ, и при вычисленіяхъ часто, для простоты, считаются за таковыя.

Совершенная жидкость характеризуется совершенно обратнымъ. Именно, если къ мысленно выдѣленному параллелипипеду (дѣйствительно выдѣленнаго параллелипипеда здѣсь вообразить себѣ нельзя, такъ какъ жидкость растечется) приложить на одной изъ его граней давленіе, для простоты распредѣленное равномѣрно, то оно во **всѣ** стороны, въ томъ числѣ и по направленіямъ, перпендикулярнымъ къ дѣйствію силъ, передастся безъ всякой потери, такъ что если на единицу площади той грани, къ которой приложены силы, дѣйствуетъ сила p, то такое же давленіе будетъ дѣйствовать и на единицу площади, плоскость которой взята произвольно, хотя бы даже и перпендикулярно къ первой грани (чер. 2). Въ этомъ состоитъ *законъ Паскаля*.

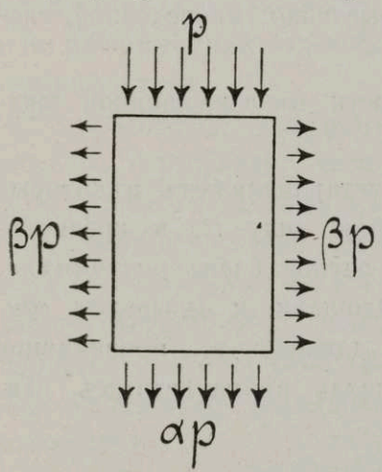
Слѣдуетъ замѣтить, что какъ для абсолютно твердаго, такъ и для совершенно жидкаго тѣла, при составленіи приведенныхъ сейчасъ опредѣленій, необходимо налагается одно условіе — именно, какъ частицы твердаго, такъ и частицы жидкаго тѣла предполагаются въ состояніи совершеннаго относительнаго покоя. Если бы онѣ находились въ движеніи другъ относительно друга, то распредѣленіе силъ (называемыхъ *напряженіями* въ случаѣ твердаго тѣла и *давленіями* въ случаѣ жидкаго тѣла) было бы совершенно иное.



Чер. 2.

Жидкія тѣла, имѣющіяся въ природѣ, приближаются въ значительной степени къ совершеннымъ жидкостямъ, и при вычисленіяхъ, для простоты, часто считаются за таковыя.

Наконецъ, въ природѣ имѣются довольно многочисленныя тѣла, которыя по свойствамъ своимъ занимаютъ мѣсто среднее между совершенными жидкостями и твердыми тѣлами. Таковы, напримѣръ, песокъ, мука, зерно и другія сыпучія тѣла; земля, сухая и сырая, густыя жидкости, мягко-пластичныя и волокнистыя тѣла, напр., хлопокъ, шерсть, и т. п. Въ этихъ тѣлахъ давленіе p, произведенное на одной грани параллелипипеда на единицу поверхности, передается и въ стороны, по направленіямъ, перпендикулярнымъ къ направленію дѣйствія силы, но не въ полномъ размѣрѣ, такъ что давленіе p превращается по перпендикулярному направленію въ давленіе βp на единицу поверхности гдѣ β больше нуля и менѣе единицы, чер. 3, а по первоначальному направленію дѣйствія силы можетъ быть равно αp, гдѣ α тоже болѣе нуля и менѣе единицы.



Чер. 3.

Изученіемъ передачи и распредѣленія силъ въ твердыхъ тѣлахъ занимается отдѣлъ Теоретической Механики, называемый *Теоріей Упругости*, а приложеніями этихъ изслѣдованій къ инженерной практикѣ — *Сопротивленіе Матеріаловъ*. Изученіемъ передачи и распредѣленія силъ въ жидкихъ тѣлахъ занимается отдѣлъ Теоретической Механики, называемый *Гидростатикой* и *Гидродинамикой*, а приложеніями этихъ изслѣдованій къ инженерной практикѣ — *Гидравлика*. Изученіемъ передачи силъ въ тѣлахъ средняго свойства (сыпучихъ и пластичныхъ), къ сожалѣнію, никакой отдѣлъ Теоретической Механики не занимается и инженеры принуждены здѣсь обходиться своими собственными силами, безъ помощи ученыхъ.

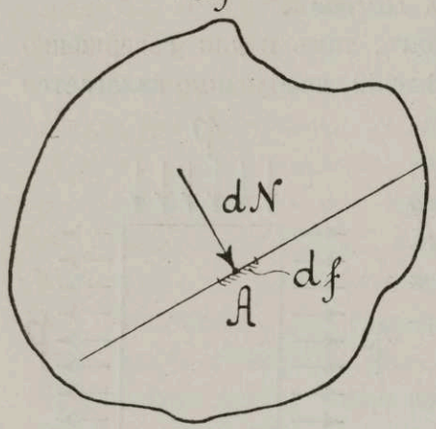
Послѣ этихъ общихъ замѣчаній, намъ остается здѣсь пояснить теперь подробнѣе, что̀ называется *давленіемъ* жидкости, и какъ это давленіе въ практикѣ измѣряется и *выражается числомъ*.

Въ большинствѣ случаевъ практики приходится имѣть дѣло съ такъ называемымъ *гидростатическимъ* давленіемъ жидкости, т. е. съ тѣмъ случаемъ, когда жидкость

находится въ состояніи *покоя*. Къ этому именно случаю и относится законъ Паскаля, который можно въ математическомъ видѣ формулировать такъ:

Если внутри массы жидкости мы возьмемъ какую-нибудь точку A, чер. 4, и будемъ проводить черезъ эту точку различныя плоскости, и брать на этихъ плоскостяхъ вокругъ нашей точки всякій разъ безконечно малыя площади df, на которыя будетъ дѣйствовать тоже безконечно малая сила dN, то для всякаго направленія плоскости предѣлъ отношенія $\frac{dN}{df}$ будетъ одна и та же постоянная величина p, которую и принято называть *давленіемъ жидкости* въ данной точкѣ A. Если бы по нѣкоторой конечной площади F была бы распредѣлена *равномѣрно* сила P въ количественномъ отношеніи совершенно такъ же, какъ по площади df распредѣлена сила dN, то, очевидно, P во столько разъ болѣе dN, во сколько F болѣе df, и мы имѣемъ пропорцію

$$\frac{P}{dN} = \frac{F}{df} \quad \text{откуда} \quad \frac{dN}{df} = \frac{P}{F} \quad \cdots\cdots (1).$$



Чер. 4.

Слѣдовательно, понятіе о давленіи мы можемъ выразить еще и такимъ образомъ:

Если по нѣкоторой площади F будетъ равномѣрно распредѣлена сила P совершенно въ томъ же количественномъ отношеніи, въ которомъ распредѣлена вокругъ точки A безконечно малая сила dN по площади df, то сила, приходящаяся при этомъ на единицу площади, т. е. величина $\frac{P}{F}$ и называется давленіемъ жидкости въ точкѣ A.

Въ совершенной жидкости сила dN всегда перпендикулярна къ той площадкѣ df, на которую она дѣйствуетъ, такъ что въ совершенной жидкости давленіе всегда перпендикулярно къ той поверхности (матеріальной или мысленно проведенной, все равно), на которую оно высчитывается.

Касательныхъ или тангенціальныхъ силъ къ поверхности въ совершенной жидкости никогда не бываетъ.

Для измѣренія давленія и выраженія его въ числахъ устанавливаютъ нѣкоторыя практическія единицы. Именно, берутъ нѣкоторую опредѣленную силу P_0 и предполагаютъ, что по нѣкоторой опредѣленной площади F_0 эта сила распредѣлена *равномѣрно*. Силу, приходящуюся при такомъ распредѣленіи на единицу площади, и называютъ *единицею давленія*, или *давленіемъ равнымъ единицѣ*, такъ что давленіе p_0, принимаемое за единицу, черезъ числа, выражающія принятую силу и площадь въ извѣстныхъ единицахъ, выразится такимъ образомъ

$$p_0 = \frac{P_0}{F_0} \quad \cdots\cdots (2).$$

Если теперь по нѣкоторой площади F распредѣлена *равномѣрно* сила P, то число единицъ давленія, принятаго нами за единицу, будетъ во столько разъ болѣе, во сколько P болѣе чѣмъ P_0, и во столько разъ менѣе, во сколько F болѣе чѣмъ F_0, такъ что число принятыхъ нами единицъ давленія при разсматриваемомъ распредѣленіи силы P по площади F_0 будетъ равно

$$p = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{F_0}{F} = \frac{P}{F} : \frac{P_0}{F_0} = \frac{P}{F} : p_0 \quad \cdots\cdots (3).$$

Единицъ давленія установилось въ практикѣ нѣсколько; наибольшимъ распространеніемъ пользуются, сообразно двумъ наиболѣе распространеннымъ системамъ мѣръ— Англійской и метрической—и единицы давленія, установленныя въ этихъ двухъ системахъ мѣръ.

Наиболѣе простой единицей для обѣихъ системъ будетъ, очевидно, та, при которой мы выберемъ (въ принятой системѣ мѣръ) P_0 = единицѣ силы и F_0 = равнымъ единицѣ площади. Сообразно этому получаются двѣ наиболѣе простыя единицы давленія, именно:

Въ Англійской системѣ мѣръ выбираютъ силу P_0 равной одному Англійскому фунту, а площадь F_0 равной одному Англійскому дюйму, и тогда за единицу давленія принимаютъ, какъ говорятъ, давленіе ***въ одинъ фунтъ на одинъ квадратный дюймъ.*** *Очевидно изъ формулы (3), что въ этомъ случаѣ*

$$p_0 = 1 \quad и \quad p = \frac{P_\phi}{F_0} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (4),$$

такъ что число единицъ давленія равно просто частному отъ раздѣленія числа фунтовъ въ силѣ на число квадратныхъ дюймовъ въ площади.

Совершенно соотвѣтственно этому въ метрической системѣ мѣръ принимаютъ P_0 равнымъ одному килограмму, а F_0 равнымъ одному сантиметру, и тогда за единицу давленія принимаютъ, какъ говорятъ, давленіе въ ***въ одинъ килограммъ на одинъ квадратный сантиметръ.*** *Очевидно изъ формулы (3), что въ этомъ случаѣ*

$$p_0 = 1 \quad и \quad p = \frac{P_k}{F_c} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (5),$$

такъ что число единицъ давленія равно просто частному отъ раздѣленія числа килограммовъ въ силѣ на число квадратныхъ сантиметровъ въ площади.

Такое распредѣленіе давленія, при которомъ на одинъ квадратный сантиметръ приходится давленіе ровно въ одинъ килограммъ, называется *давленіемъ въ одну* **новую** или **метрическую** *атмосферу*. Физическое значеніе этого названія будетъ объяснено немного далѣе.

Понятно, разумѣется, что можно выбрать и другія единицы силы и площади, какъ въ Англійской, такъ и въ метрической системѣ мѣръ; такъ напр., часто въ Англійской системѣ мѣръ берутъ (при значительныхъ давленіяхъ, чтобы не возиться съ большими числами) за единицу силы P_0—одну тонну, а за единицу площади или одинъ квадратный дюймъ или же одинъ квадратный футъ. Въ *метрической* системѣ мѣръ иногда за единицу силы берутъ *одинъ килограммъ*, а за единицу площади — *одинъ квадратный метръ*. Въ Сопротивленіи Матеріаловъ, для выраженія напряженія, за единицу часто берутъ одинъ килограммъ на одинъ квадратный миллиметръ.

Теперь слѣдуетъ разсмотрѣть одну, весьма распространенную единицу, которую называютъ давленіемъ одной атмосферы. Эта единица получила значительное распространеніе въ техникѣ, но не смотря на это, единица эта есть весьма сложное и неудобное понятіе и лучше всего избѣгать этой единицы для устраненія недоразумѣній. Именно для устраненія такихъ недоразумѣній и была болѣе 30 лѣтъ тому назадъ введена чисто условная единица, имѣющая мало общаго съ дѣйствительнымъ давленіемъ воздуха, именно, *новая* или *метрическая* атмосфера, о которой сказано ранѣе.

Когда колонна или столбъ ртути въ барометрѣ стоитъ на какой-нибудь высотѣ, то на каждую единицу площади основанія столба при этомъ производится извѣстное давленіе благодаря вѣсу колонны. Не обративши должнаго вниманія на зависимость этого вѣса отъ нѣсколькихъ обстоятельствъ, техники давно уже вздумали давленіе на

единицу площади основанія столба при нѣкоторомъ опредѣленномъ стояніи (высотѣ) барометра принять за единицу и назвать его давленіемъ одной (дѣйствительной) атмосферы. Такимъ образомъ были приняты:

Въ *Англіи*—давленіе барометрическаго столба ртути на единицу площади при высотѣ столба въ 30 Англійскихъ дюймовъ, за единицу, названную давленіемъ одной атмосферы.

Въ государствахъ, принявшихъ *метрическую* систему—давленіе барометрическаго столба ртути на единицу площади при высотѣ столба въ 760 миллиметровъ.

Эти высоты были названы въ соотвѣтствующихъ государствахъ „нормальнымъ“ стояніемъ или „нормальной“ высотою барометра.

На самомъ дѣлѣ, эти единицы суть величины *совершенно неопредѣленныя*, какъ сейчасъ покажемъ, и для опредѣленности имъ приходится придать столько дополнительныхъ условій, что совершенно теряется смыслъ принятія за единицу величины взятой *„изъ природы“*, т. е. стоянія барометра.

Въ самомъ дѣлѣ, вѣсъ столба ртути, съ высотою h и площадію основанія, равной единицѣ, будетъ равенъ

$$1^2 \times h \times \Delta \times m_h \times g,$$

гдѣ Δ есть удѣльный вѣсъ ртути по отношенію къ водѣ, m_h есть масса единицы объема воды, а g—ускореніе силы тяжести. Какъ видно, разсматриваемый вѣсъ зависитъ и отъ *качества* ртути, такъ какъ удѣльный вѣсъ можетъ нѣсколько измѣняться для разныхъ сортовъ ртути, смотря по степени ея чистоты и т. п., и отъ *температуры* ея, и отъ *величины* g, ускоренія силы тяжести, которая, какъ извѣстно изъ физики, есть величина перемѣнная, зависящая отъ *широты* мѣста и отъ *высоты* его надъ уровнемъ моря. Такъ, напр. приблизительная величина g, въ зависимости отъ широты мѣста φ и высоты его надъ уровнемъ моря h, выражается такимъ образомъ

$$g = 980{,}6056 - 2{,}5028\cos 2\varphi - 0{,}000003h \quad \ldots\ldots (6),$$

гдѣ g выражено въ сантиметрахъ въ секунду^2, а h—въ сантиметрахъ. Для сравнительныхъ опредѣленій Англійскій *Board of Trade* даетъ такую формулу:

$$g = g_0(1 - 0{,}00257\cos 2\varphi) \times \left[1 - \frac{5}{4}\frac{h}{R}\right] \quad \ldots\ldots (7),$$

гдѣ: g есть ускореніе силы тяжести на широтѣ φ; g_0 — ускореніе силы тяжести на широтѣ въ 45°; R — радіусъ земли и h — высота мѣста надъ уровнемъ моря. Эта формула примѣнима для мѣста на земной поверхности. Для подъема на воздушномъ шарѣ вмѣсто $\left[1 - \frac{5}{4}\frac{h}{R}\right]$ надо поставить $\left[1 - \frac{2h}{R}\right]$. Мѣры въ формулѣ (7)—*произвольны*, ибо формула однородна и въ нее входятъ только *отношенія*.

Изъ сказаннаго видно, что совершенно недостаточно для опредѣленія вѣса столба ртути съ высотою въ 30 дюймовъ, или же въ 760 миллиметровъ, указать *только эту высоту* столба для того, чтобы опредѣлить его вѣсъ. Надо знать и высоту мѣста, и широту мѣста, и качество ртути, и ея температуру, и можетъ быть, еще и многое другое, если принять во вниманіе *всѣ* физическія условія. Поэтому приходится *условливаться* относительно частныхъ числовыхъ значеній всѣхъ величинъ, опредѣляющихъ этотъ вѣсъ и входящихъ въ выраженіе его, приведенное выше. Но это весьма рѣдко дѣлается въ техническихъ сочиненіяхъ и поэтому, въ концѣ концовъ, пришлось прибѣгнуть къ тому, чтобы оставить въ покоѣ и барометръ, и ртутный столбъ и атмосферу и просто сказать *условно*, что давленіе одной атмосферы есть такое давленіе, при которомъ:

въ Англійской системѣ мѣръ на одинъ квадратный дюймъ производится давленіе въ 14,7 фунта;

въ метрической системѣ мѣръ на одинъ квадратный сантиметръ производится давленіе въ 1,0334 килограмма.

Послѣ того, какъ пришлось назначить эти числовыя значенія, разговоры объ „воздухѣ“ и „барометрѣ“ потеряли всякій смыслъ и поэтому уже тридцать съ лишнимъ лѣтъ тому назадъ приняли болѣе удобную единицу, близкую по величинѣ къ этимъ прежнимъ, именно — *давленіе одного килограмма на одинъ квадратный сантиметръ* и, для сохраненія связи со старымъ способомъ говоренія, назвали эту единицу *новой* или *метрической* атмосферой. **Эта атмосфера и употребляется въ настоящее время во всѣхъ культурныхъ странахъ, принявшихъ метрическую систему.**

О другихъ, мало распространенныхъ единицахъ говорить здѣсь считаемъ излишнимъ.

Соотношенія между наиболѣе употребительными единицами давленія легко могутъ быть получены, когда извѣстны соотношенія между основными единицами длины и силы, и выводить ихъ здѣсь считаемъ излишнимъ *.

Изъ разнообразныхъ случаевъ вычисленія давленія для насъ, въ сочиненіи о трубахъ, наибольшее значеніе имѣетъ вопросъ о вычисленіи слагающихъ давленія, распредѣленнаго равномѣрно, въ томъ случаѣ, когда давленіе это дѣйствуетъ на *кривую* стѣнку произвольной формы. Этимъ вопросомъ мы теперь и займемся, такъ какъ изложеніе его встрѣчается далеко не во всякомъ курсѣ Механики.

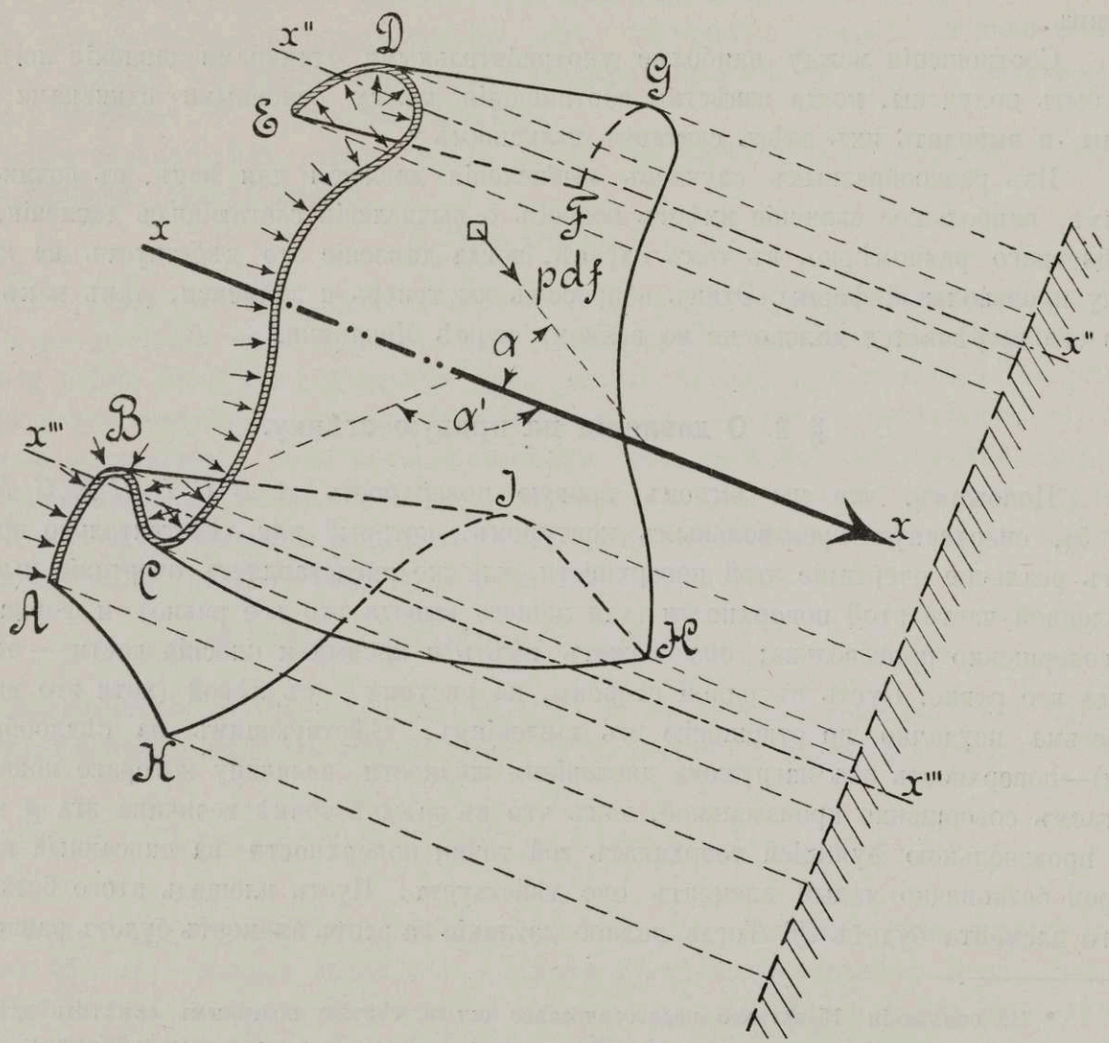
§ 2. О давленіи на кривую стѣнку.

Положимъ, что мы имѣемъ кривую поверхность $A\ B\ C\ D\ E\ F\ G\ H\ I\ K$ (чер. 5), очерченную произвольнымъ контуромъ, который или дѣйствительно представляетъ реальное очертаніе этой поверхности, или же представляетъ очертаніе мысленно выдѣленной части этой поверхности (для нашего вывода это все равно) и форма которой совершенно произвольна; она можетъ имѣть и кривыя и плоскія части — это для вывода все равно. Пусть съ одной стороны, на рисункѣ — съ лѣвой (хотя это выраженіе весьма неудачно по отношенію къ давленіямъ, дѣйствующимъ на сѣдлообразныя части)—поверхность эта нагружена давленіемъ жидкости, величину котораго пока предполагаемъ совершенно произвольной, такъ что въ каждой точкѣ величина эта p можетъ быть произвольною функціей координатъ той точки поверхности на описанный вокругъ которой безконечно малый элементъ оно дѣйствуетъ. Пусть площадь этого безконечно малаго элемента будетъ df. Тогда полное давленіе на этотъ элементъ будетъ равно $p \cdot df$

---

* На основаніи 15-лѣтняго педагогическаго опыта считаю полезнымъ замѣтить здѣсь, что вообще знакомство съ вопросами о *переводѣ однихъ мѣръ въ другія* и о *перечисленіи формулъ, однородныхъ и неоднородныхъ, данныхъ для однихъ мѣръ, въ другія*, есть вещь **капитальной важности** для всякаго интеллигентнаго работника и въ особенности для инженера. Но, какъ и слѣдовало ожидать, наши курсы математики и упражненія по нимъ въ высшихъ учебныхъ заведеніяхъ (Университетахъ и Техническихъ Школахъ) **совершенно игнорируютъ** этотъ важный вопросъ, и учить студентовъ этому приходится профессорамъ машиностроенія (какъ напр. приходится это дѣлать мнѣ) или вообще, техническихъ предметовъ. Пріемъ же для перевода сложныхъ формулъ, въ особенности неоднородныхъ, изъ однихъ мѣръ въ другія (который, хотя и простъ, но нигдѣ не изложенъ, такъ что мнѣ пришлось лично формулировать его въ видѣ совершенно опредѣленнаго „моего“ правила) не всякому сразу приходитъ въ голову и приходилось наблюдать, что даже способнѣйшіе студенты на этомъ пунктѣ разбираются сперва лишь съ большими затрудненіями. Пріемы перевода мѣръ и формулъ и упражненія на нихъ введены въ послѣднее время мною въ число упражненій по Деталямъ Машинъ въ Императорскомъ Техническомъ Училищѣ и по моему же настоянію подобныя упражненія были введены и въ программу упражненій по Теоретической Механикѣ (но лишь только для однородныхъ, механическихъ формулъ). Въ имѣющемъ вскорѣ появиться моемъ задачникѣ къ курсу Деталей Машинъ вопросу этому будетъ удѣлено должное вниманіе.

и оно направлено по нормали къ этому элементу въ сторону дѣйствія давленія. Такъ какъ всѣ элементы поверхности могутъ быть расположены совершенно произвольно, то и нормали въ различныхъ точкахъ поверхности тоже не параллельны между собою и могутъ быть совершенно произвольны. Результатомъ этого является то, что въ такомъ общемъ случаѣ дѣйствіе всѣхъ давленій жидкости на поверхность тоже представится, вообще говоря, въ своемъ самомъ общемъ видѣ, т. е. сведется, какъ извѣстно изъ Механики, къ одной силѣ и къ одной парѣ, такъ что въ общемъ случаѣ давленія жидкости на произвольную часть поверхности стремятся и двигать ее поступательно (дѣйствіе *силы*, приложенной въ центрѣ тяжести) и опрокинуть ее (дѣйствіе *пары*). Такимъ образомъ, **не можетъ быть и рѣчи о полномъ или равнодѣйствующемъ давленіи жидкости на поверхность**, такъ какъ къ такому давленію, вообще говоря, присоединяется и *пара*, которая стремится опрокинуть поверхность или стѣнку, и только



Чер. 5.

въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ моментъ этой пары можетъ оказаться равнымъ нулю. Такимъ образомъ, о величинѣ полнаго давленія на данную стѣнку, въ общемъ случаѣ, говорить нельзя. Но за то, если мы пожелаемъ узнать не полное давленіе на стѣнку, а лишь давленіе на стѣнку или поверхность **по нѣкоторому направленію**, то эту задачу, которая въ практикѣ встрѣчается весьма часто, мы рѣшить вполнѣ въ состояніи. При вычисленіи давленія по извѣстному направленію пара силъ въ проэкціи на это направленіе дастъ, конечно, нуль, а проэкція силы вычислится вполнѣ опредѣленно.

Рѣшеніемъ этой задачи мы теперь и займемся. Найдемъ давленіе жидкости, дѣйствующей на нашу стѣнку *A B C D E F G H I K*, по направленію *xx* (чер. 5; сдѣланъ въ перспективѣ).

Силу *pdf*, дѣйствующую на взятый нами произвольный элементъ поверхности *df* по направленію нормали къ нему, проэктируемъ на направленіе *xx*; пусть нормаль

составляетъ съ этимъ направленіемъ уголъ равный α. Тогда проэкція силы pdf на направленіе xx будетъ равна $pdf \cdot cos\alpha$, и все давленіе P_x по направленію xx выразится суммою:

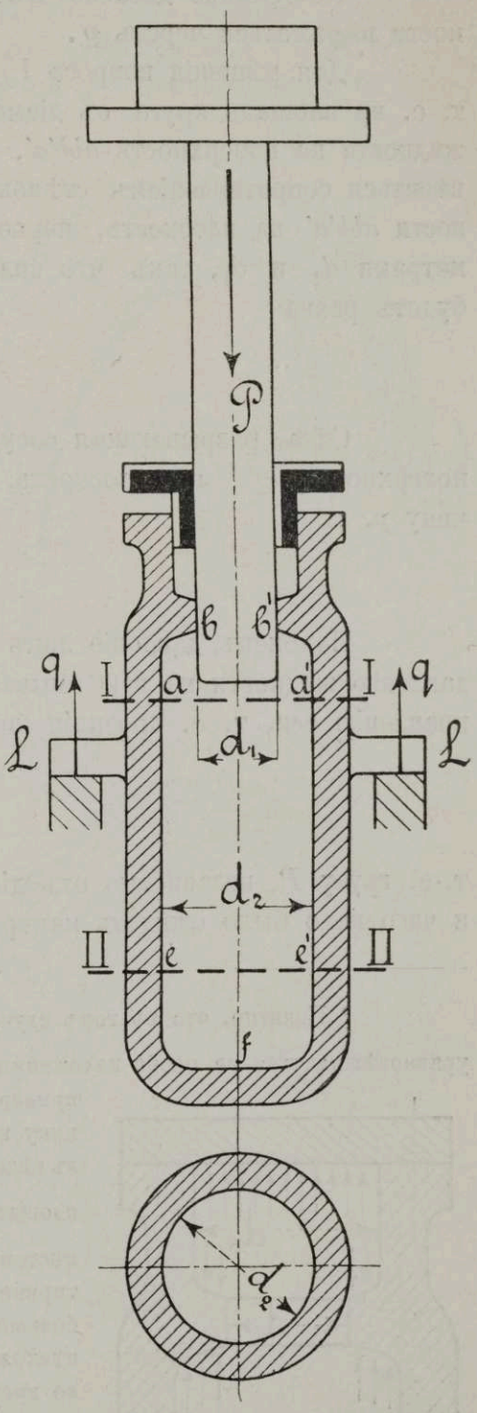
$$P_x = \sum pdf \cdot cos\alpha \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (8).$$

Наиболѣе интересный и весьма часто встрѣчающійся въ практикѣ, въ особенности при изученіи трубъ, случай, есть тотъ, когда давленіе p *постоянно*. Въ этомъ случаѣ вычисленіе значительно упрощается и результатъ его представляется въ весьма удобномъ видѣ. Въ общемъ же случаѣ для вычисленія необходимо знать зависимость давленія p отъ координатъ точки поверхности и сумма замѣнится тогда интегралomъ.

Итакъ, положимъ, что давленіе p жидкости (или газа, это все равно) п о с т о я н н о во всѣхъ точкахъ поверхности. Тогда это давленіе можетъ быть вынесено изъ подъ знака суммы и величина силы, дѣйствующей на поверхность по направленію xx, представится въ видѣ

$$P_x = p \cdot \sum df \cdot cos\alpha \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (9).$$

Не трудно видѣть, что сумма $\Sigma df cos\alpha$ есть то, что въ Геометріи принято называть п р о э к ц і е й п о в е р х н о с т и на плоскость перпендикулярную къ направленію xx. Проэкція эта можетъ быть вычислена аналитически или графически. Слѣдуетъ только помнить, что въ томъ случаѣ, когда уголъ α нормали съ осію xx, считаемою въ сторону стрѣлки, выходитъ б о л ѣ е прямого, какъ напримѣръ уголъ α', то проэкція соотвѣтствующаго элемента будетъ о т р и ц а т е л ь н а; изъ этого видно, что для тѣхъ мѣстъ поверхности, гдѣ линія, параллельная направленію xx, пронизываетъ поверхность **дважды** (или, вообще, **четное** число разъ), какъ напр. прямая $x''x''$, проэкціи двухъ элементовъ поверхности взаимно уничтожатся при суммированіи; тамъ же, гдѣ поверхность пронизана направленіемъ оси xx **однажды, трижды** (какъ это имѣетъ мѣсто для прямой $x'''x'''$) или, вообще, **нечетное** число разъ, проэкція элемента войдетъ (со знакомъ или $+$, или $-$, смотря по положенію элемента) въ сумму, которая, въ конечномъ результатѣ, дастъ всегда проэкцію наружнаго очертанія поверхности.



Чер. 6.

Такимъ образомъ, мы можемъ высказать слѣдующую, весьма важную теорему, на которую часто будемъ ссылаться въ дальнѣйшемъ:

Давленіе жидкости (если оно постоянно) на кривую стѣнку по произвольному направленію равно давленію этой жидкости на проэкцію стѣнки, взятую на плоскость, перпендикулярную къ сказанному направленію.

Для наглядности возьмемъ нѣсколько примѣровъ.

Примѣръ 1. — Пусть на чер. 6 изображенъ цилиндръ гидравлическаго подъемника, въ которомъ ходитъ, проходя сквозь сальникъ, плунжеръ или скалка, несущій на себѣ поднимаемый грузъ. Сумма вѣсовъ груза и самого плунжера съ платформой

пусть будетъ равна P. Цилиндръ имѣетъ внутри діаметръ d_2 бо́льшій, нежели діаметръ d_1 плунжера, и опирается прилитыми къ нему лапами L, L на какую нибудь фундаментную плиту. Опредѣлить

I)—Напряженіе на разрывъ въ сѣченіи I I цилиндра?
II)—Напряженіе на разрывъ въ сѣченіи II II цилиндра?
III)—Давленіе цилиндра на плиту, т. е. сумму силъ q?

Постоянное давленіе жидкости въ резервуарѣ пусть будетъ на единицу поверхности выражаться черезъ p.

Для рѣшенія вопроса I) замѣтимъ, что давленіе жидкости на площадь скалки, т. е. на площадь круга съ діаметромъ d_1, уравновѣшивается грузомъ P. Давленіе же жидкости на поверхность $abb'a'$, взятое по направленію оси цилиндра, должно уравновѣситься сопротивленіемъ стѣнокъ сосуда разрыву въ сѣченіи I I. Проэкція поверхности $abb'a'$ на плоскость, перпендикулярную къ оси сосуда, будетъ кольцо съ діаметрами d_2 и d_1, такъ что сила, разрывающая сосудъ въ поперечномъ сѣченіи I I будетъ равна

$$\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2) \cdot p^*.$$

Сила, разрывающая сосудъ въ поперечномъ сѣченіи II II, будетъ равна проэкціи поверхности efe' на плоскость, перпендикулярную къ оси, помноженной на величину p, т. е.

$$\frac{\pi}{4} d_2^2 \cdot p.$$

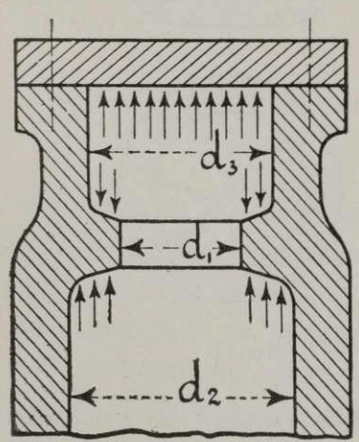
Наконецъ, давленіе лапъ сосуда на фундаментную плиту будетъ равно, конечно, давленію жидкости на всю омываемую жидкостью поверхность сосуда, взятому по направленію оси, т. е. проэкціи поверхности $baefe'a'b'$, умноженной на p, или

$$\frac{\pi d_1^2}{4} \cdot p,$$

т.-е, грузу P, независимо отъ діаметра внутренности сосуда d_2, что, конечно, понятно, и чего надо было ожидать напередъ.

---

* Понятно, что въ томъ случаѣ, когда давленіе жидкости на площадь плунжера $\frac{\pi d_1^2}{4}$ будетъ уравновѣшиваться не особо наложеннымъ грузомъ P, а воспримется, напримѣръ, при помощи крышки, привернутой (хотя бы во время гидравлической пробы цилиндра) къ сальнику или концу сосуда (чер. 7), то въ этомъ случаѣ разрывающая сила въ сѣченіи I I будетъ, конечно, обусловлена *полнымъ* давленіемъ на всю площадь круга съ діаметромъ d_2, т. е. будетъ равна $\frac{\pi d_2^2}{4} p$. Мнѣ извѣстенъ одинъ случай изъ практики большого завода, гдѣ это элементарное соображеніе ускользнуло отъ вниманія инженеровъ и цилиндръ большого гидравлическаго аккумулятора, составленный по длинѣ изъ нѣсколькихъ цилиндровъ, свернутыхъ на флянцахъ, былъ р а з р у ш е н ъ во время пробы. Именно, одинъ стыкъ приходился въ сѣченіи I I, выше лапъ, и болты, свертывавшіе здѣсь флянцы, были конструкторомъ правильно расчитаны только на силу $\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)\, p$. Пробовавшіе же, завернувъ конецъ цилиндра крышкой, передали на сѣченіе I I, т. е. на площадь болтовъ, силу гораздо бо́льшую, именно $\frac{\pi}{4} d_2^2 \cdot p$. Результатомъ явилось то, что всѣ болты во время пробы лопнули.



Чер. 7.

Другой подобный случай, тоже лично мнѣ извѣстный, произошелъ при гидравлической пробѣ цилиндра паровой машины, гдѣ давленіемъ была выдавлена крышка цилиндра, находившаяся во время пробы тоже совсѣмъ не въ тѣхъ условіяхъ передачи давленій, въ какихъ она будетъ во время работы паровой машины.

Примѣръ 2.—Труба загибается на 180 градусовъ, что̀ выполнено при помощи колѣна, соединеннаго съ прямыми частями на флянцахъ, чер. 8. Опредѣлить силу, которая воспринимается болтами и на которую они должны быть расчитаны?

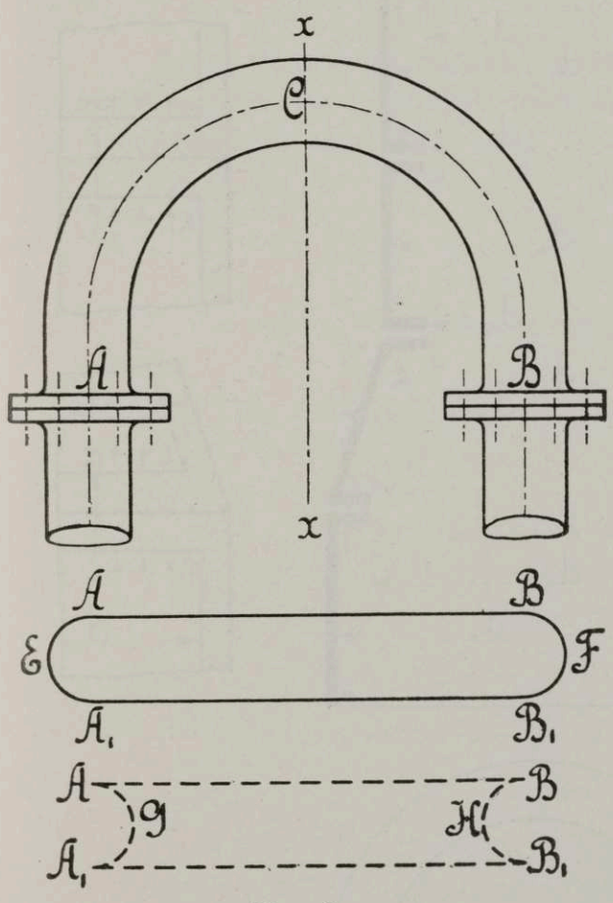
Въ трубѣ находится жидкость съ давленіемъ p на единицу поверхности.

Для простоты рисунка не будемъ рисовать толщину стѣнокъ, которая не играетъ здѣсь, все равно, никакой роли, и будемъ считать, что толщина стѣнокъ равна какъ бы нулю.

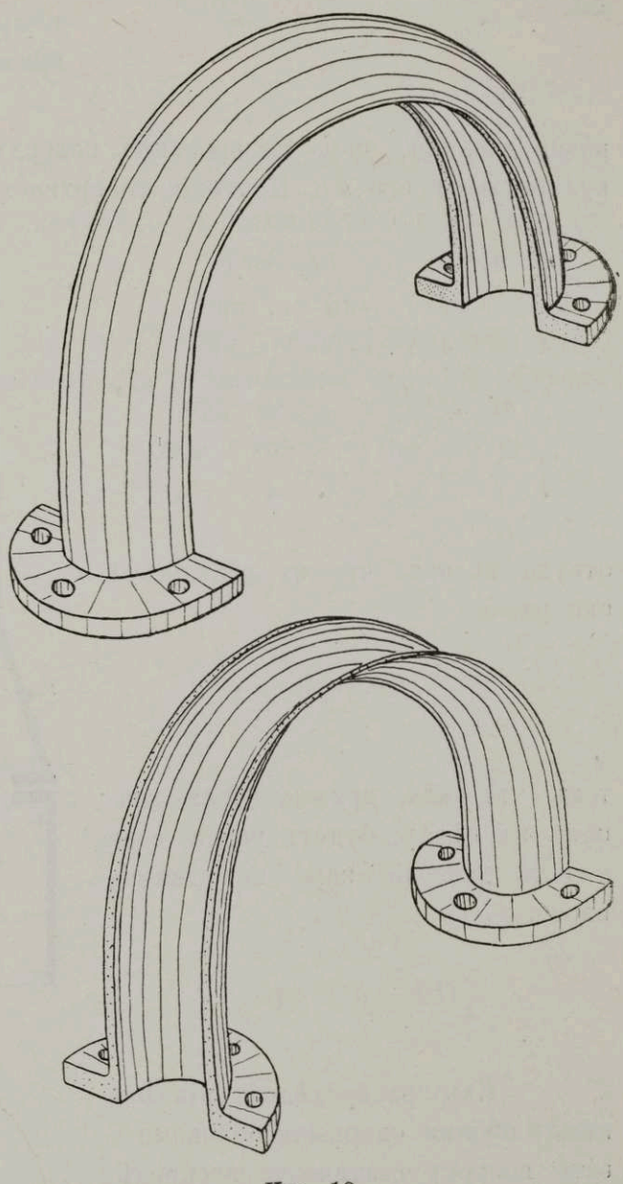
Сила, стремящаяся разорвать болты обоихъ флянцевъ, есть давленіе жидкости на колѣно, вычисленное по направленію xx, параллельному осямъ прямыхъ частей трубъ. Слѣдовательно, сила эта будетъ равна давленію жидкости p, помноженному на проэкцію всей внутренней поверхности колѣна, сдѣланную на плоскость, перпендикулярную къ xx, или на плоскость, параллельную плоскости соприкосновенія флянцевъ.

Проведемъ на каждой изъ боковыхъ сторонъ колѣна линіи ACB, которыя

Чер. 8.



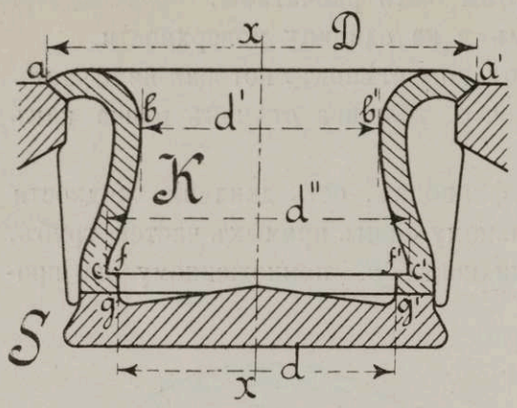
Чер. 9.



Чер. 10.

суть ничто иное, какъ очертанія соприкосновенія съ колѣномъ касательныхъ плоскостей, проведенныхъ по обѣ стороны параллельно осямъ прямыхъ частей. Эти двѣ линіи раздѣляютъ всю поверхность колѣна на двѣ половины; всѣ элементы верхней половины подвержены давленіямъ, имѣющимъ слагающую $\| xx$, направленную на чертежѣ вверхъ и потому въ проэкцію войдутъ со знакомъ $+$; всѣ элементы нижней половины подвержены давленіямъ, имѣющимъ слагающую, параллельную xx, направленною въ обратную сторону, на чертежѣ—внизъ, и потому въ проэкцію войдутъ со знакомъ $-$, такъ что въ результатѣ проэкція всей поверхности колѣна будетъ равна разности проэкцій поверхностей сказанныхъ двухъ половинъ трубы колѣна.

Проэкція верхней половины будетъ фигура $ABFB_1A_1E$, а проэкція нижней половины—фигура $ABHB_1A_1G$ (проэкціи изображены для ясности отдѣльно на чер. 9, а сами половины—въ перспективѣ на чер. 10); разность этихъ двухъ фигуръ есть, очевидно, сумма площадей двухъ круговъ AGA_1E и BFB_1H, каждый съ діаметромъ равнымъ внутреннему діаметру трубы d.



Чер. 11.

Итакъ, сила, разрывающая болты каждаго флянца, будетъ $\frac{\pi d^2}{4} \cdot p$.

Примѣръ 3. — Опредѣлить силу, съ которой двухъопорный клапанъ K паровой машины прижимается къ своему сѣдлу S ?

Изъ чер. 11 мы видимъ, что сила эта равна давленію пара на проэкцію поверхности $abcfgg'f'c'b'a'$ на плоскость, перпендикулярную къ оси xx. Проэкція поверхности выразится такимъ образомъ

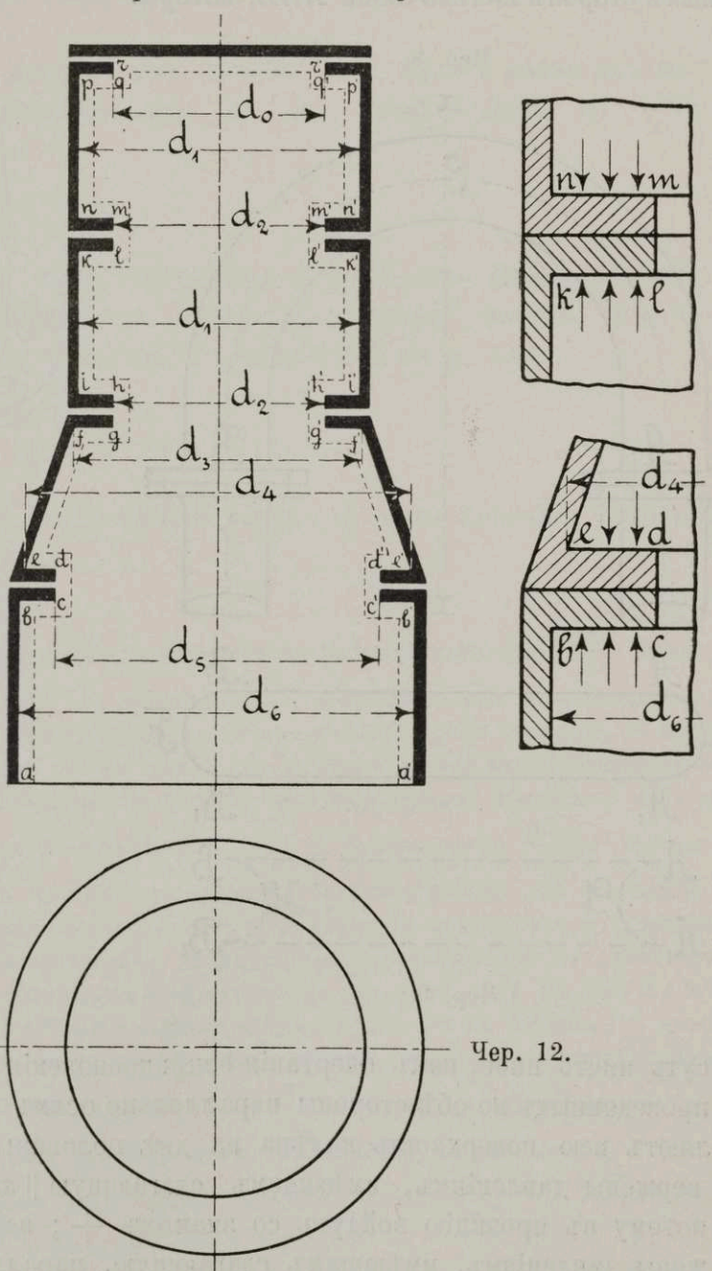
$$\underset{пр.\ abb'a'}{\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d'^2}{4}} - \underset{пр.\ bcc'b'}{\left(\frac{\pi d''^2}{4} - \frac{\pi d'^2}{4}\right)} + \underset{пр.\ cff'c'}{\left(\frac{\pi d''^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}\right)} + \underset{пр.\ fgg'f'}{\left(\frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}\right)},$$

откуда видимъ, что въ результатѣ она равна

$$\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2),$$

такъ что сила, прижимающая клапанъ къ сѣдлу, будетъ равна, если p есть давленіе пара на единицу площади,

$$\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot p.$$



Чер. 12.

Какъ распредѣлится эта сила между обоими опорными поясками—есть вопросъ статически-неопредѣленный. Въ практикѣ предполагаютъ такое распредѣленіе, что напряженіе смятія на обѣихъ опорныхъ поверхностяхъ поясковъ будетъ одинаковымъ.

Примѣръ 4. — Опредѣлить силу отъ давленія сжатаго воздуха, наполняющаго мостовой устой, чер. 12, стремящуюся поднять этотъ устой вверхъ?

(Детальный чертежъ подобнаго устоя имѣется въ Атласѣ на табл. 103, фиг. 2—16).

Составляемъ выраженіе проэкціи всей внутренней поверхности устоя, подверженной давленію *, на плоскость, перпендикулярную къ его оси. Имѣемъ слѣдующее:

$$\begin{aligned}
&\text{пр. } abb'a' \qquad \text{пр. } bcc'b' \qquad \text{пр. } cdd'c' \qquad \text{пр. } edd'e' \qquad \text{пр. } eff'e' \\
&\left(\frac{\pi d_6^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_6^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_6^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_5^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_5^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_5^{\,2}}{4}\right) - \left(\frac{\pi d_4^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_5^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_4^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_3^{\,2}}{4}\right) + \\
&\text{пр. } fgg'f' \qquad \text{пр. } ghh'g' \qquad \text{пр. } ihh'i' \qquad \text{пр. } ikk'i' \qquad \text{пр. } kee'k' \\
&+ \left(\frac{\pi d_3^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_2^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_2^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_2^{\,2}}{4}\right) - \left(\frac{\pi d_1^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_2^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_1^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_1^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_1^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_2^{\,2}}{4}\right) + \\
&\text{пр. } lmm'l' \qquad \text{пр. } nmm'n' \qquad \text{пр. } npp'n' \qquad \text{пр. } pqq'p' \qquad \text{пр. } qrr'q' \\
&+ \left(\frac{\pi d_2^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_2^{\,2}}{4}\right) - \left(\frac{\pi d_1^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_2^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_1^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_1^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_1^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_0^{\,2}}{4}\right) + \left(\frac{\pi d_0^{\,2}}{4} - \frac{\pi d_0^{\,2}}{4}\right) + \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \text{пр. } rr' \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad + \frac{\pi d_0^{\,2}}{4},
\end{aligned}$$

что̀, послѣ приведенія, даетъ въ результатѣ просто $\frac{\pi d_6^{\,2}}{4}$, и если помножимъ это на p, давленіе воздуха на единицу поверхности, то получимъ подымающую устой силу въ видѣ $\frac{\pi d_6^{\,2}}{4} \cdot p$.

Этихъ примѣровъ вполнѣ достаточно для того, чтобы уяснить себѣ суть дѣла; дальнѣйшіе примѣры встрѣтятся намъ при разсмотрѣніи смѣщающихъ силъ въ трубахъ съ криволинейной осью.

---

* эта, подверженная давленію, поверхность обведена въ разрѣзѣ устоя на чертежѣ 12 для ясности особымъ пунктированнымъ контуромъ.

ГЛАВА II.

Основныя понятія о трубахъ и ихъ соединеніяхъ. Вопросъ о прочности трубъ.

1). О трубахъ и ихъ соединеніяхъ вообще.

§ 3. *Трубою* въ широкомъ смыслѣ слова можетъ быть названо всякое полое тѣло, служащее для проведенія внутри его, сквозь эту полость, какого-нибудь вещества, сыпучаго, жидкаго или газообразнаго, изъ одного мѣста въ другое. Въ большинствѣ случаевъ длина такихъ тѣлъ или трубъ во много разъ превышаетъ ихъ поперечные размѣры. Затѣмъ, въ большинствѣ случаевъ практики трубы имѣютъ форму тѣлъ *призматическихъ* и чаще всего форму *круглаго* цилиндра.

Укажемъ вкратцѣ на тѣ случаи, гдѣ встрѣчаются трубы въ своихъ разнообразныхъ упомянутыхъ здѣсь формахъ.

Сыпучія тѣла по трубамъ проводятся изъ одного мѣста въ другое довольно рѣдко. Примѣры такой проводки мы имѣемъ въ элеваторахъ или зернохранилищахъ, гдѣ зерно иногда движется по трубамъ внизъ вслѣдствіе своего вѣса или же движется по всевозможнымъ направленіямъ, будучи увлекаемо струей сжатаго воздуха (пневматическій способъ передвиженія зерна), такъ что въ этомъ послѣднемъ случаѣ по трубамъ идетъ, собственно, смѣсь зерна и воздуха.

На хлопчатобумажныхъ фабрикахъ мы имѣемъ примѣръ движенія хлопка по трубамъ изъ верхнихъ этажей фабрики, гдѣ производится сортировка его, въ нижніе.

Но вообще такіе примѣры рѣдки. Несравненно чаще по трубамъ приходится перегонять *жидкость* и такіе примѣры въ техникѣ, можно сказать, безконечно разнообразны, ибо сколько еще будетъ придумано различныхъ жидкостей во всевозможныхъ химическихъ производствахъ, столько же будетъ и случаевъ употребленія трубъ.

Наиболѣе распространеннымъ и извѣстнымъ примѣромъ проведенія жидкости по трубамъ являются *водопроводы*, гдѣ чистая, пригодная для питья, а иногда лишь только для иныхъ цѣлей, вода проводится по трубамъ изъ отдаленнаго источника къ мѣсту потребленія и здѣсь распредѣляется по отдѣльнымъ домамъ. Вторымъ примѣромъ является отведеніе той же, исполнившей въ домахъ свои различныя назначенія, воды обратно, въ естественныя природныя условія теченія ея, путемъ канализаціи.

Примѣры передвиженія по трубамъ другихъ жидкостей встрѣчаются на каждомъ шагу въ области различныхъ химическихъ производствъ.

Проведеніе по трубамъ тѣлъ *парообразныхъ* и *газообразныхъ* встрѣчается въ техникѣ тоже на каждомъ шагу. Паропроводы, проводящіе водяной паръ изъ паровыхъ котловъ къ паровымъ машинамъ, являются наиболѣе извѣстнымъ примѣромъ.

Сжатый воздухъ, употребляющійся теперь весьма часто для передачи работы къ различнымъ машинамъ-орудіямъ, разсѣяннымъ на довольно большихъ разстояніяхъ, проводится изъ компрессора, гдѣ онъ сжимается, по трубамъ.

Различные другіе газы, напр., аміакъ въ холодильныхъ машинахъ и различные газы въ химическихъ производствахъ, проводятся по трубамъ.

Съ наиболѣе извѣстными и важными примѣрами устройства трубъ для всѣхъ такихъ случаевъ мы встрѣтимся далѣе, а потому ограничимся пока приведенными примѣрами.

Разстояніе между мѣстомъ полученія какого нибудь вещества и мѣстомъ его потребленія, или, вообще, между двумя мѣстами, которыя нужно сообщить трубопроводомъ, бываетъ иногда весьма незначительно, напр., нѣсколько дюймовъ, а иногда бываетъ и сотни верстъ, какъ напр. въ водопроводѣ Кульгарди (см. табл. 81 Атласа), гдѣ оно составляетъ **пятьсотъ верстъ!** Понятно, что въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ длина трубопровода велика, невозможно изготовить весь трубопроводъ изъ одного цѣльнаго куска матеріала. Изъ какого бы матеріала не изготовлялась труба, будетъ ли она литая чугунная, сварная желѣзная, цѣльнотянутая мѣдная и т. п.—все равно: *практически невозможно* изготовить изъ одного куска трубу длиною въ нѣсколько верстъ или десятковъ верстъ, невозможно привезти ее на мѣсто и тамъ опустить въ землю. Точно также совершенно невозможно, вслѣдствіе огромной стоимости, изготовлять трубы длиною даже всего лишь въ нѣсколько десятковъ саженъ. Вслѣдствіе большого вѣса и длины такія трубы представляютъ столь значительныя затрудненія (отзывающіяся на стоимости) при своемъ изготовленіи, обработкѣ, перевозкѣ, укладкѣ и ремонтѣ, что и о такихъ длинахъ мечтать въ настоящее время не приходится. Практически, мы пока принуждены довольствоваться тѣмъ, чтобы составлять всѣ наши трубопроводы, въ особенности имѣющіе значительный діаметръ, изъ кусковъ трубъ весьма небольшой длины, всего лишь въ нѣсколько метровъ, такъ что длинный трубопроводъ будетъ состоять изъ нѣсколькихъ десятковъ, сотенъ и тысячъ такихъ отдѣльно изготовленныхъ кусковъ, которые надобно всѣ *соединить* послѣдовательно одинъ съ другимъ такъ, чтобы образовалась одна непрерывная линія, **работающая такъ же, какъ работала бы и изготовленная изъ одного цѣльнаго куска матеріала.** Слѣдовательно, надо считаться съ тѣмъ, что въ длинномъ трубопроводѣ мы будемъ имѣть сотни и тысячи такъ называемыхъ *соединеній трубъ*, т. е. тѣхъ мѣстъ, гдѣ одинъ кусокъ или звѣно трубы сопрягается или соединяется со слѣдующимъ. Понятно поэтому, что въ виду важности правильнаго устройства такихъ соединеній, имъ въ технической литературѣ часто удѣляется даже больше вниманія, чѣмъ самимъ трубамъ.

Прежде чѣмъ говорить объ общихъ принципахъ устройства трубъ и ихъ соединеній, естественно поставить теперь вопросъ, который самъ собою и представляется при устройствѣ всякаго трубопровода—

„Какъ разбить воображаемый цѣльный трубопроводъ на отдѣльныя части“?,—

другими словами, сколько назначить на полной длинѣ трубопровода отдѣльныхъ частей, или, все равно, какую длину придать каждой отдѣльной части?

Если бы мы знали въ видѣ аналитическихъ функцій всѣ законы зависимости стоимостей изготовленія, упаковки, перевозки, распаковки, укладки, сборки, ремонта и т. п. всѣхъ частей нашего трубопровода [т. е. прямыхъ частей его и самихъ соединеній] отъ размѣровъ этихъ частей, и главное, отъ длины каждой отдѣльной трубы, то вопросъ рѣшался бы чрезвычайно легко простымъ нахожденіемъ minimum'а по правиламъ дифференціальнаго исчисленія.

Въ самомъ дѣлѣ, если L — вся длина трубопровода (для простоты — *прямого*, чтобы не усложнять задачи принятіемъ во вниманіе стоимости фасонныхъ частей и работы на закругленіяхъ и т. п.), l—длина отдѣльно изготовляемой части или отдѣльной трубы, i—число такихъ отдѣльныхъ частей, то мы имѣемъ соотношеніе

$$L = li \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (10).$$

Назовемъ теперь черезъ

r — стоимость изготовленія и сборки одного соединенія трубъ, которую можно предположить совершенно не зависящей отъ длины каждой отдѣльной трубы l или, все равно, отъ числа трубъ i.

T — стоимость изготовленія, перевозки и укладки одной трубы съ длиною l.

Полная стоимость A устройства трубопровода выразится теперь уравненіемъ

$$A = ri + Ti \quad \cdots\cdots (11)\ *,$$

раздѣляя обѣ части котораго на l, получаемъ,

$$\frac{A}{L} = \frac{ri}{L} + \frac{Ti}{L} = \frac{ri}{L} + \frac{T}{l} = \frac{ri}{L} + t \quad \cdots\cdots (12),$$

если черезъ t назовемъ величину $\frac{T}{L}$, т. е. стоимость единицы длины трубы (включая сюда и часть длины, занятую соединеніемъ, что̀, вслѣдствіе малой длины мѣстъ соединенія, не даетъ сколько нибудь замѣтной ошибки).

Первое слагаемое, $\frac{ri}{L}$, зависитъ отъ i прямо, ибо $\frac{r}{L}$ есть величина отъ i уже не зависящая. Величина же t, какъ сказано раньше, зависитъ отъ i. Именно, чѣмъ длиньше труба, тѣмъ труднѣе и дороже ее изготовить, нужно имѣть очень глубокія ямы для отливаемыхъ вертикально трубъ, длинныя поддержки для прокатныхъ и тянутыхъ; надо имѣть болѣе тяжелые краны для подъема такихъ длинныхъ трубъ, болѣе длинныя платформы и телѣги для ихъ перевозки, причемъ какъ на заводѣ, такъ и на этихъ телѣгахъ, такъ и на складѣ, труба должна быть поддержана по своей длинѣ во многихъ мѣстахъ, иначе она переломится отъ собственнаго вѣса. Все это ведетъ къ тому, что величина t, т. е. *стоимость единицы длины трубы* возрастаетъ съ уменьшеніемъ i, числа трубъ въ данномъ трубопроводѣ, или, все равно, уменьшается съ уменьшеніемъ l, такъ что можно вообще написать

$$t = f(i) \quad \cdots\cdots (13),$$

причемъ, съ увеличеніемъ i, величина t будетъ уменьшаться **.

---

* Слѣдуетъ пояснить, что выраженіе это составлено для простоты такимъ образомъ, что число отдѣльныхъ звѣньевъ принято равнымъ числу соединеній и то и другое безразлично обозначено черезъ i. Строго говоря, если на обоихъ концахъ трубопровода находятся тоже соединенія, подобныя тѣмъ, кои имѣются на всей линіи, то при числѣ звѣньевъ i, число соединеній было бы $i+1$, но при большомъ числѣ соединеній это не имѣетъ замѣтнаго вліянія и для простоты мы этой разницы въ расчетъ не вводимъ, тѣмъ болѣе, что числовыхъ вычисленій намъ дѣлать не придется, а суть дѣла остается совершенно та же, введемъ мы сказанную разницу или нѣтъ.

** Для разъясненія возможныхъ сомнѣній слѣдуетъ указать на то, что величина i, собственно говоря, не можетъ измѣняться непрерывно, такъ какъ i есть величина, выражающаяся непремѣнно цѣлымъ отвлеченнымъ числомъ (число трубъ), и потому объ *непрерывномъ* измѣненіи i не можетъ быть и рѣчи. Яснѣе дѣло станетъ, если вмѣсто i мы подставимъ въ формулу (13) величину $l = \frac{L}{i}$ и напишемъ просто

$$t = \varphi(l) \quad \cdots\cdots (14).$$

Здѣсь ясно, что длина каждой отдѣльной части можетъ измѣняться непрерывно (можетъ быть выбираема нами по произволу) и слѣд. ур. (14) вполнѣ законно и можетъ идти рѣчь о дифференцированіи его при непрерывномъ измѣненіи l для нахожденія minimum'а. Единственная поправка, которую мы должны были бы сдѣлать въ этомъ случаѣ, состояла бы въ томъ, что, имѣя въ виду, что i вообще получается дробнымъ, мы должны были бы писать стоимость трубопровода въ видѣ

$$A = r \cdot E(i) + T \cdot E(i) + K \quad \cdots\cdots (15),$$

гдѣ членъ K есть стоимость послѣдняго (дробнаго), болѣе короткаго куска трубопровода, а $E(i)$ есть извѣстное математическое обозначеніе, показывающее, что надо взять **цѣлое число единицъ**, содер-

Продифференцировавъ теперь выраженіе

$$\frac{A}{L}=\frac{ri}{L}+t=\frac{ri}{L}+f(i)$$

по i и приравнявъ производную нулю, мы изъ этого новаго уравненія могли бы узнать то значеніе i, т. е. то число отдѣльныхъ трубъ, при которомъ стоимость трубопровода будетъ наименьшая.

Но видъ функціи f(i) въ формѣ какой-нибудь опредѣленной аналитической зависимости совершенно не извѣстенъ и потому раціонально вопросъ теоретически рѣшенъ быть не можетъ *. Практически онъ рѣшенъ многолѣтней практикой, т. е. установлены для трубъ литыхъ чугунныхъ, прокатныхъ и тянутыхъ желѣзныхъ и мѣдныхъ, извѣстныя длины, которыми и пользуются покупатели; но это *нисколько еще не означаетъ*, что установлены **именно такіе размѣры**, которые дѣйствительно соотвѣтствуютъ минимуму стоимости всего устройства. Объ этомъ важномъ вопросѣ, какъ это и всегда бываетъ, вездѣ говорится только вскользь, какъ о чемъ-то, понятномъ само собою; между тѣмъ, *дѣло заслуживало бы болѣе глубокаго изученія со стороны инженеровъ*. Я лично нахожу, что установленныя длины трубъ вообще слишкомъ малы; такими, напр. въ особенности представляются нормальныя длины чугунныхъ водопроводныхъ трубъ для малаго діаметра. Здѣсь нѣтъ большихъ затрудненій въ перевозкѣ и укладкѣ, а вѣсъ раструба весьма значителенъ по сравненію съ длиною одной трубы.

Но, конечно, не одна только стоимость является рѣшающимъ факторомъ при выборѣ длины каждой отдѣльной части. Играютъ роль и другія соображенія. Важнѣйшимъ изъ такихъ соображеній является необходимость имѣть полную *герметичность* трубопровода, т. е. непроницаемость его для заключенныхъ внутри его веществъ. А именно въ мѣстахъ соединеній, гдѣ имѣется всегда какой нибудь *стыкъ*, т. е. мѣсто прикосновенія двухъ отдѣльныхъ тѣлъ, омываемое заключеннымъ внутри трубъ веществомъ, и можетъ вещество это изъ трубы пробираться наружу.

Понятно, что такое просачиваніе жидкости (будемъ для краткости говорить „*жидкость*“, разумѣя подъ этимъ всякое вещество, заключенное внутри трубы) **не должно быть допускаемо,** а если оно произойдетъ иногда вслѣдствіе порчи соединенія,

---

жащееся въ величинѣ, стоящей подъ знакомъ E (сокращенное французское слово Entier, цѣлая часть). Такъ напр. $E(75^1/_3)$ будетъ 75. Такъ какъ при большой длинѣ трубопровода, при числѣ отдѣльныхъ частей i въ нѣсколько сотъ и тысячъ, вліяніе члена K будетъ ничтожно, то мы въ текстѣ и пренебрегли имъ, допуская какъ бы непрерывное измѣненіе i, вмѣсто чего слѣдовало бы допустить непрерывное измѣненіе l, прибавивъ добавочный членъ—K, стоимость короткой части, обращающійся въ нуль въ тѣ моменты, когда число i дѣлается цѣлымъ.

* Совершенно подобнымъ же образомъ стоятъ въ области Техники и многіе другіе весьма важные вопросы той же категоріи. Таковы, напримѣръ, вопросы

1). О наивыгоднѣйшемъ числѣ панелей въ желѣзнодорожныхъ и другихъ раскосныхъ мостахъ, и вообще о числѣ и размѣрахъ стержней въ раскосныхъ сооруженіяхъ.
2). О наивыгоднѣйшемъ числѣ опоръ для приводныхъ валовъ.
3). О наивыгоднѣйшей длинѣ рельсъ въ зависимости отъ числа стыковъ и о наилегчайшемъ сѣченіи рельсъ въ зависимости отъ числа шпалъ.
4). О числѣ пролетовъ моста или о числѣ быковъ его (если дно рѣки ровное, такъ что выборъ мѣста для быковъ совершенно свободенъ),

и многіе другіе подобные вопросы. Во всѣхъ такихъ случаяхъ аналитическія выраженія зависимостей цѣнности отъ отдѣльныхъ перемѣнныхъ вопроса намъ пока совершенно неизвѣстны и сказанные вопросы иногда рѣшаются въ практикѣ на основаніи весьма сомнительныхъ, якобы научныхъ соображеній, а чаще попросту „на глазъ“ и поэтому весьма полезно дать молодому инженеру предостереженіе—остерегаться довѣрять установившимся въ практикѣ соотношеніямъ и стараться по мѣрѣ возможности испробовать—не дадутъ ли другія комбинаціи болѣе выгодныхъ рѣшеній задачи.

Подобныя пробы придется дѣлать не математическимъ путемъ, ибо функціональныя зависимости пока совершенно не выяснены, а путемъ посильнаго составленія нѣсколькихъ параллельныхъ проэктовъ и смѣтъ.

№ 1164
263618
ДОГАШЕМ

то должно быть *немедленно устраняемо*. Въ самомъ дѣлѣ, прежде всего такая течь означаетъ количественную потерю жидкости, а эта послѣдняя всегда представляетъ извѣстную стоимость; если же жидкость находится еще и *подъ давленіемъ* (какъ, напримѣръ, въ передачѣ работы посредствомъ сжатаго воздуха или воды подъ давленіемъ), то течь даетъ и потерю части работы, затраченной на сообщеніе жидкости давленія, или, пожалуй, можно сказать, на сжатіе жидкости. Кромѣ того, во многихъ случаяхъ вытекающая наружу жидкость портитъ предметы, окружающіе трубопроводъ, а иногда, если по трубамъ проводится жидкость или газъ, вредные или даже смертельные для жизни людей (свѣтильный газъ, генераторный газъ, сѣрнистый ангидридъ, ѣдкія кислоты), то течь трубопровода является опасной для здоровья и жизни рабочихъ или публики, не говоря уже о возможномъ перерывѣ въ ходѣ производства.

Иногда дѣло можетъ быть и еще похуже, напримѣръ въ томъ случаѣ, если изъ канализаціонныхъ трубъ жидкость, обладающая заразными свойствами, попадетъ въ такой слой почвы, откуда можетъ просочиться въ водоносные слои, питающіе водопроводъ. Въ этомъ случаѣ можетъ быть взрывъ тифозной или иной эпидеміи, уносящій сотни жертвъ. Примѣромъ можетъ служить тифозная эпидемія, имѣвшая мѣсто въ 1904 году въ городѣ Columbus, въ Штатѣ Ohio, описанная въ журналѣ „Engineering News“ за 1904 г., № 6.

Мы сейчасъ сказали, что жидкость можетъ пробираться изъ трубы наружу. Такъ оно и бываетъ въ большинствѣ случаевъ практики, ибо почти всегда давленіе проводимой внутри трубъ жидкости бываетъ *болѣе*, чѣмъ давленіе окружающей трубы среды, каковою почти всегда является атмосферный воздухъ. Но иногда бываютъ случаи, когда давленіе текущей внутри трубъ жидкости бываетъ *менѣе*, чѣмъ давленіе окружающей среды, такъ что въ случаѣ негерметичности внѣшняя среда будетъ проникать въ трубы. Но понятно, что и въ этомъ случаѣ подмѣсь посторонняго элемента (воздуха, а иногда и какой-либо иной жидкости) къ проводимому внутри трубъ веществу тоже часто можетъ быть вредной. Такъ напримѣръ, вредной является примѣсь воздуха къ водѣ, текущей во всасывающей трубѣ турбины или къ мятому пару, идущему въ холодильникъ парового двигателя и т. п. Поэтому, вообще, надо сказать:

не должно быть допускаемо сообщеніе, хотя бы путемъ даже малыхъ щелей, внутренности трубы съ окружающимъ ее пространствомъ, могущее повлечь за собою перетеканіе изъ одного пространства въ другое.

Очевидно, что чѣмъ больше на данной длинѣ трубопровода соединеній трубъ (или чѣмъ короче отдѣльныя трубы), тѣмъ больше вѣроятность просачиванія сквозь соединенія и тѣмъ большее число этихъ послѣднихъ можетъ начать пропускать одновременно. Поэтому, и съ этой точки зрѣнія, *наибольшей возможной безвредности трубопровода и наименьшей частоты ремонта пропускающихъ соединеній*, выгоднѣе дѣлать отдѣльныя трубы **возможно длиньше**, а число соединеній—**возможно меньше**.

Практически принятыя въ настоящее время длины трубъ указаны на различныхъ таблицахъ Атласа, и въ настоящей книгѣ.

Теперь укажемъ соображенія, которыми приходится руководиться при устройствѣ соединеній трубъ.

Соединеніе трубъ, какъ и всякая деталь вообще, подчиняется тѣмъ же общимъ условіямъ проэктированія, которыя извѣстны изъ курса введенія въ машиностроеніе. Для нашего случая главнѣйшими изъ такихъ соображеній являются два:

1). Вопросъ о **прочности**

и

2). Вопросъ о **герметичности** или **непроницаемости**.

Затѣмъ необходимо принять во вниманіе еще и соображенія о наименьшей затратѣ матеріала, о наименьшей стоймости изготовленія и сборки, объ удобствѣ изготовленія и сборки, объ удобствѣ ремонта, о доступности всѣхъ частей, и пр.

Прежде, чѣмъ говорить подробно объ устройствѣ соединеній трубъ, мы должны разсмотрѣть сперва вопросъ и о построеніи самихъ трубъ.

Мы будемъ имѣть здѣсь въ виду простѣйшія и наиболѣе распространенныя трубы, именно, трубы съ *круглымъ* поперечнымъ сѣченіемъ и притомъ *цилиндрическія*.

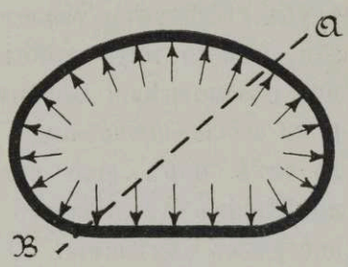
Главнымъ и почти единственнымъ соображеніемъ при проэктированіи такихъ трубъ является вопросъ объ ихъ *прочности*, т. е. о способности ихъ сопротивляться дѣйствующимъ на нихъ силамъ, изъ которыхъ, въ большинствѣ случаевъ, наиболѣе важной является давленіе заключенной въ трубѣ жидкости на ея стѣнки.

Кромѣ этого давленія труба подвержена еще и многимъ другимъ, посторонним силамъ, болѣе или менѣе случайнаго и неопредѣленнаго характера.

Разсмотримъ сперва вліяніе внутренняго давленія.

2). О сопротивленіи трубъ внутреннему давленію.

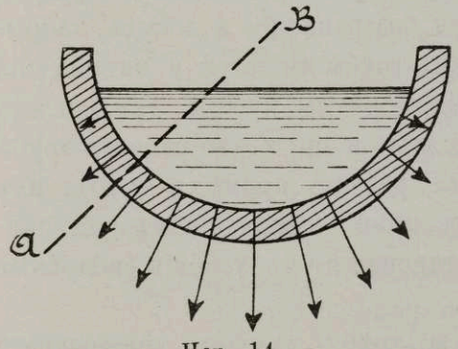
§ 4. Въ Гидравликѣ подъ именемъ „*трубъ*“ понимаются такія устройства для проведенія жидкостей и газовъ, у которыхъ **все** поперечное сѣченіе заполнено проводимой жидкостію, которая подвержена въ каждомъ мѣстѣ трубы извѣстному *давленію* [по абсолютной величинѣ давленіе это можетъ быть больше или меньше давленія окружающей трубу атмосферы (или иной среды) — это здѣсь безразлично], которому и должны прочно сопротивляться стѣнки трубы. „*Каналомъ*“ же называется такое устройство для проведенія только капельныхъ жидкостей, при которомъ вся внутренность этого устройства стоитъ въ сообщеніи съ окружающимъ воздухомъ, такъ что жидкость заполняетъ **не все** поперечное сѣченіе канала и давленіе на поверхности жидкости здѣсь всегда равно давленію воздуха, а въ глубинѣ поперечнаго сѣченія канала обусловлено исключительно вѣсомъ столба жидкости.



Чер. 13.

Понятно, поэтому, что условія работы трубы и канала въ смыслѣ сопротивленія дѣйствующему въ нихъ давленію жидкости будутъ нѣсколько различны.

Закрытая труба, по всему поперечному сѣченію которой давленіе принимаютъ распредѣленнымъ равномѣрно (если пренебречь вѣсомъ, что обыкновенно не влечетъ замѣтной ошибки, т. к. давленія въ трубахъ довольно велики), подвергается во всякомъ своемъ поперечномъ сѣченіи AB (чер. 13) и *напряженію на разрывъ* и напряженію на изгибъ. При нѣкоторыхъ формахъ поперечнаго сѣченія (*круглая* форма) напряженіе на изгибъ можетъ совершенно отсутствовать и труба подвергается только напряженію на разрывъ.



Чер. 14.

Въ *открытомъ* каналѣ (чер. 14) стѣнки его, вслѣдствіе давленія жидкости, обусловленнаго исключительно вѣсомъ ея, подвергаются въ какомъ нибудь поперечномъ сѣченіи AB напряженію *на изгибъ;* если каналъ большой, не металлическій, а напр. бетонный, обсыпанный кругомъ землею, то давленіе этой земли уменьшаетъ напряженіе стѣнокъ на изгибъ, вызываемое вѣсомъ жидкости.

Слѣдуетъ замѣтить, что иногда самыя стѣнки канала, ради большей его прочности, или же ради удобства изготовленія, выполняются такъ, что онѣ сходятся вверху и образуютъ по внѣшнему виду точное подобіе того, что мы ранѣе назвали трубой и даже иногда труба эта имѣетъ и форму *круглаго* цилиндра, какъ это имѣетъ мѣсто, напримѣръ, съ гончарными (глиняными) трубами для канализаціи. Но суть дѣла отъ этого нисколько не мѣняется, такъ какъ и въ такихъ сплошныхъ пустотѣлыхъ каналахъ, имѣющихъ форму трубъ, жидкость все таки не заполняетъ вполнѣ всего ихъ

поперечнаго сѣченія, а течетъ въ нихъ исключительно вслѣдствіе своего собственнаго вѣса, по уклону, внизъ, имѣя свободную поверхность и будучи на этой поверхности подвержена только давленію окружающаго воздуха. О такихъ каналахъ, въ формѣ круглыхъ гончарныхъ трубъ, говорится въ настоящей книгѣ далѣе, такъ какъ соображенія конструированія ихъ довольно сходны съ соображеніями конструированія трубъ, подверженныхъ давленію и наполненныхъ сплошь жидкостію.

Говорить же о прочности открытыхъ, корытообразныхъ каналовъ есть дѣло инженернаго искусства, а потому мы ограничимся сдѣланнымъ замѣчаніемъ и въ дальнѣйшемъ будемъ имѣть въ виду **только трубы.**

Разсмотримъ наиболѣе общій случай трубы съ толстыми стѣнками постоянной толщины, имѣющей *круглое* поперечное сѣченіе, простирающейся неопредѣленно и наполненной жидкостью, имѣющею постоянное давленіе p_i на единицу площади. Посмотримъ, какое дѣйствіе оказываетъ на такую трубу, сдѣланную изъ **однороднаго** матеріала, внутреннее давленіе p_i жидкости или газа, ее наполняющихъ?

Въ такомъ общемъ видѣ задача впервые была правильно рѣшена извѣстнымъ Французскимъ ученымъ *Ламѐ* (Lamé), подъ именемъ котораго и до сихъ поръ извѣстна формула, выведенная впервые имъ и служащая для расчета толщины стѣнокъ такихъ трубъ. Слѣдуетъ указать, что и до Ламѐ дѣлались попытки рѣшить задачу, но попытки эти, вмѣсто того, чтобы имѣть въ своемъ основаніи точное и вовсе ужъ не такъ трудное разсмотрѣніе деформаціи трубы, имѣли своей основой **совершенно произвольныя** и *не соотвѣтствующія дѣйствительности предположенія.* Такъ какъ формулы эти и до сихъ поръ еще встрѣчаются, преимущественно въ устарѣлыхъ или несерьезныхъ новѣйшихъ Англійскихъ и Американскихъ сочиненіяхъ, то я считаю полезнымъ сдѣланное здѣсь замѣчаніе. О нѣкоторыхъ изъ этихъ формулъ скажемъ послѣ вывода формулы Ламѐ.

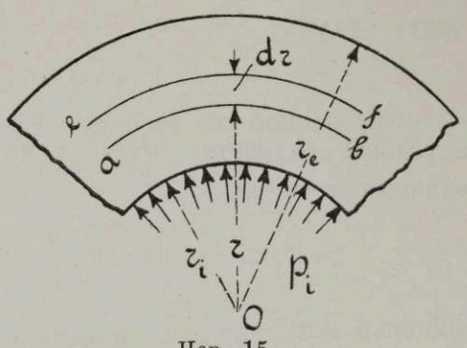
Формула Ламѐ имѣется, правда, во многихъ болѣе полныхъ сочиненіяхъ по Сопротивленію Матеріаловъ, но она часто не входитъ въ курсы Высшихъ Техническихъ Учебныхъ Заведеній, а иногда излагается довольно кратко, что затрудняетъ ясное пониманіе сути дѣла. Поэтому я здѣсь нахожу полезнымъ дать возможно подробный и понятный выводъ формулы Ламѐ, которою технику, въ особенности въ настоящее время, когда давленія все повышаются и степень ошибки, происходящей отъ замѣны формулы Ламѐ приближенной формулой Маріотта, все увеличивается, приходится часто пользоваться. Слѣдуетъ указать еще и на то, что въ сочиненіяхъ по Сопротивленію Матеріаловъ излагается по большей части не оригинальная формула Ламѐ, а болѣе сложная формула, гдѣ разсматривается не труба, простирающаяся безгранично, а сосудъ, закрытый по концамъ днами или крышками, такъ что въ стѣнкѣ трубы имѣются и напряженія на разрывъ въ сѣченіяхъ, перпендикулярныхъ оси. Такія формулы нужны для расчета стѣнокъ котловъ, прессовъ, ретортъ для жидкой углекислоты и пр. и для расчета трубъ съ колѣнами, но онѣ не примѣнимы непосредственно для расчета прямыхъ трубъ; ихъ надо упрощать. Поэтому я предпочитаю вывести здѣсь прямо нужную намъ для прямыхъ трубъ формулу Ламѐ. О случаяхъ, гдѣ труба становится въ условія, подобныя сосуду, закрытому по концамъ, будетъ сказано дальше.

Итакъ, представимъ себѣ цилиндрическую трубу *круглаго* поперечнаго сѣченія, не имѣющую по концамъ днищъ, т. е. открытую по концамъ; длина такой трубы не играетъ тогда никакой роли и можетъ быть принимаема произвольной.

Пусть внутри такой трубы имѣется вещество, находящееся подъ постояннымъ давленіемъ p_i. Снаружи такая труба подвергается обыкновенно давленію внѣшняго воздуха, т. е. перемѣнному давленію, указываемому во всякій моментъ времени барометромъ. Иногда же давленіе окружающей трубу среды можетъ нѣсколько и отличаться отъ воздушнаго, напримѣръ, если труба лежитъ подъ водою и т. п.

Во всѣхъ такихъ случаяхъ величина наружнаго давленія измѣняется въ сравнительно весьма тѣсныхъ предѣлахъ и, по сравненію съ тѣмъ давленіемъ, которое господ-

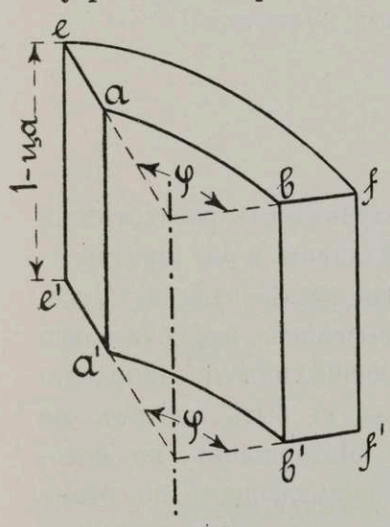
ствуетъ внутри толстостѣнной трубы и считается многими десятками, а часто и сотнями атмосферъ, можетъ быть принята безъ замѣтной погрѣшности равною нулю, такъ что подъ p_i мы будемъ разумѣть абсолютное давленіе внутри трубы. Впрочемъ, совершенно съ такою же малою погрѣшностію можно, вмѣсто принятія наружнаго давленія равнымъ нулю, сдѣлать и другое упрощающее допущеніе, именно, принять, что наружная и внутренняя поверхности цилиндрической трубы равны и взять за разрывающее трубу давленіе разность наружнаго и внутренняго давленій, считая, что оба дѣйствуютъ на одну и ту же поверхность; въ этомъ случаѣ подъ p_i разумѣютъ избыточное давленіе внутри трубы, и, если труба окружена атмосфернымъ воздухомъ, за наружное давленіе считаютъ условно давленіе равное одной технической атмосферѣ. *Процентно* величина ошибки, происходящей отъ такихъ допущеній, весьма незначительна, благодаря же этимъ допущеніямъ значительно упрощается выводъ формулы. Если же принимать во вниманіе разницу между наружной и внутренней поверхностями, то дѣло запутывается и выводъ становится много сложнѣе.



Чер. 15.

Итакъ, снаружи труба совершенно не нагружена, а внутри ея имѣется жидкость, подверженная во всякой точкѣ постоянному давленію p_i на единицу поверхности. Подъ дѣйствіемъ такого внутренняго давленія стѣнки трубы растягиваются въ каждой точкѣ окружности трубы по направленію касательному къ ней и въ каждомъ діаметральномъ сѣченіи трубы (проходящемъ черезъ ось ея) появляются напряженія на разрывъ, причемъ по площади этого діаметральнаго сѣченія стѣнокъ напряженія эти распредѣлены по радіальному направленію *не равномѣрно* и въ этомъ и состоитъ отличіе точной теоріи растяженія *толстостѣнныхъ* трубъ отъ теоріи трубъ тонкостѣнныхъ, гдѣ принимается, что въ тонкомъ поперечномъ діаметральномъ сѣченіи напряженіе на разрывъ распредѣлено по толщинѣ стѣнки равномѣрно.

Пусть *ab* и *ef* будутъ двѣ цилидрическихъ поверхности, проведенныхъ внутри толщи стѣнокъ, на разстояніи *dr* одна отъ другой по радіальному направленію. Радіусъ внутренней поверхности *ab* назовемъ *r* (чер. 15). Во всѣхъ точкахъ окружности явленіе, конечно, одинаково, и во всѣхъ точкахъ длины трубы—тоже. Будемъ разсматривать, поэтому, условія упругаго равновѣсія элемента объема, вырѣзаннаго двумя сказанными выше цилиндрическими поверхностями, затѣмъ двумя плоскостями, перпендикулярными къ оси цилиндра и проведенными на разстояніи равномъ единицѣ одна отъ другой и затѣмъ двумя безконечно близкими діаметральными плоскостями, образующими одна съ другой безконечно малый уголъ φ (чер. 16).



Чер. 16.

Внѣшней по отношенію къ матеріалу стѣнокъ нагрузкой является давленіе заключенной въ трубѣ жидкости, которое вызываетъ напряженія въ разрывъ въ діаметральныхъ сѣченіяхъ и напряженія сжатія по радіальному направленію на цилиндрическихъ поверхностяхъ *aba'b'* и *efe'f'*, причемъ величина этихъ напряженій, какъ покажетъ далѣе теорія и какъ учитъ опытъ, убываетъ по мѣрѣ увеличенія радіуса, т. е. по мѣрѣ приближенія къ наружной поверхности стѣнки.

Назовемъ напряженіе на разрывъ на поверхности діаметральнаго сѣченія между поверхностями *aba'b'* и *efe'f'* черезъ σ_t; величину радіальнаго напряженія на внутренней поверхности *aba'b'* назовемъ черезъ σ_r; тогда напряженіе на слѣдующей, безконечно близкой, поверхности *efe'f'* будетъ равно

$$\sigma_r + \frac{d\sigma_r}{dr} \cdot dr,$$

такъ какъ приращеніе радіальнаго напряженія обусловлено исключительно измѣненіемъ радіуса r. Сама величина дифференціала будетъ, собственно, отрицательна, ибо напряженіе, какъ сказано, убываетъ съ увеличеніемъ радіуса.

Такъ какъ цилиндръ нашъ открытъ по концамъ, то никакого напряженія по направленію его оси въ стѣнкахъ быть не можетъ; измѣненіе же длины по этому направленію происходитъ (свободно) можетъ, что̀ и будемъ принимать во вниманіе далѣе.

Напишемъ теперь условія равновѣсія взятаго нами элемента стѣнки, беря проэкціи всѣхъ силъ на средній радіусъ элемента.

Давленія на внутреннюю и внѣшнюю поверхности цилиндрическихъ частей элемента будутъ

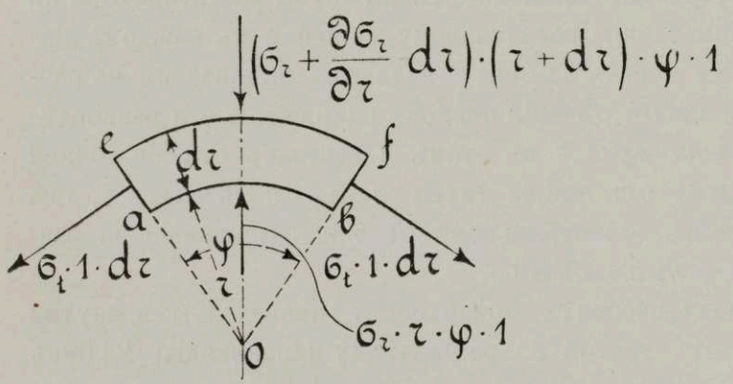
$$1 \cdot r \cdot \varphi \cdot \sigma_r \quad \text{и} \quad 1 \cdot (r + dr) \cdot \varphi \cdot \left(\sigma_r + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r}\, dr\right)$$

и условіе равенства нулю суммы проэкцій всѣхъ силъ на средній радіусъ (чер. 17) напишется въ видѣ,

$$2 \cdot \sigma_t \cdot 1 \cdot dr \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = \sigma_r \cdot r \cdot \varphi \cdot 1 - \left(\sigma_r + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r}\, dr\right)(r + dr) \cdot \varphi \cdot 1$$

или

$$2\sigma_t \cdot dr \cdot \sin\frac{\varphi}{2} = -\sigma_r \cdot \varphi \cdot 1 \cdot dr - r \cdot \varphi \cdot 1 \cdot \frac{\partial \sigma_r}{\partial r}\, dr - \varphi \cdot 1 \cdot \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} \cdot dr^2.$$



Чер. 17.

Пренебрегая безконечно малою величиною высшаго порядка — $\varphi \cdot 1 \cdot \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} \cdot dr^2$ и принимая синусъ безконечно малой дуги $\frac{\varphi}{2}$ равнымъ самой дугѣ $\frac{\varphi}{2}$ получаемъ

$$\sigma_t \cdot dr = -\sigma_r \cdot dr - r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} \cdot dr,$$

что можно, очевидно, написать (независимо отъ знака) въ видѣ

$$\sigma_t = \frac{d}{dr}(\sigma_r \cdot r).$$

Другое необходимое намъ соотношеніе между σ_t и σ_r получимъ изъ разсмотрѣнія деформацій. Именно, такъ какъ цилиндръ нашъ неопредѣленной длины и мы предположили явленіе одинаковымъ вездѣ по этой длинѣ, ибо всѣ условія вездѣ одни и тѣ же, то очевидно, что и измѣненіе (относительное) единицы длины, вызванное исключительно дѣйствіемъ напряженій σ_t и σ_r, при отсутствіи особой растягивающей силы по направленію оси, будетъ вездѣ постоянно. Величина этого измѣненія можетъ быть сейчасъ же найдена на основаніи того элементарнаго закона Сопротивленія Матеріаловъ, по которому, при дѣйствіи по нѣкоторому направленію напряженія z, вызывающаго по этому направленію деформацію λ (растяженія или сжатія), появляется и по перпендикулярному направленію тоже, какъ слѣдствіе, нѣкоторая деформація λ', величина которой стоитъ съ первой въ извѣстной связи. Именно, если i есть относительное измѣненіе длины по направленію дѣйствія силы, то по перпендикулярному направленію появляется относительное измѣненіе длины въ m разъ меньшее, т. е.

$$i' = \frac{i}{m}.$$

Пользуясь теперь принципомъ независимости дѣйствія силъ и называя черезъ E коэффиціентъ упругости матеріала при растяженіи или сжатіи, мы находимъ, что отъ

дѣйствія по направленію радіуса напряженія σ_r, вызывающаго по этому же направленію относительную деформацію $i_r = \frac{\sigma_r}{E}$, по направленію оси, перпендикулярному къ первому, произойдетъ относительное измѣненіе длины

$$i'_r = \frac{\sigma_r}{mE}.$$

Точно также, отъ дѣйствія по касательной напряженія σ_t, вызывающаго по этому направленію деформацію $i_t = \frac{\sigma_t}{E}$, по направленію оси появится относительное измѣненіе длины

$$i'_t = \frac{\sigma_t}{mE}.$$

Такимъ образомъ, полное измѣненіе длины (относительное) по направленію оси цилиндра будетъ сумма (алгебраическая) этихъ двухъ измѣненій, т. е.

$$i'_r + i_t = \frac{1}{mE}(\sigma_t + \sigma_r).$$

Какъ мы сказали выше, сумма эта остается во всякомъ мѣстѣ длины цилиндра *постоянной*, такъ что мы должны написать условіе

$$\frac{1}{mE}(\sigma_r + \sigma_t) = A,$$

гдѣ A нѣкоторая постоянная величина.

Подставляя въ это послѣднее уравненіе найденную нами ранѣе величину $\sigma_t = \frac{d}{dr}(\sigma_r \cdot r)$, мы находимъ, что, послѣ помноженія на r, его можно представить въ видѣ

$$AmErdr = 2\sigma_r r dr + r^2 d\sigma_r, \qquad \text{или} \qquad AmEr = \frac{d}{dr}(\sigma_r \cdot r^2).$$

Интегрируя это уравненіе получаемъ

$$\sigma_r \cdot r^2 = \frac{1}{2} AmEr^2 + B$$

или

$$\sigma_r = \frac{1}{2} AmE + \frac{B}{r^2}$$

гдѣ B есть нѣкоторое постоянное.

Итакъ

$$\sigma_t = AmE - \sigma_r = \frac{1}{2} AmE - \frac{B}{r^2}.$$

Постоянныя количества A и B безъ труда опредѣляются по начальнымъ даннымъ.

Именно, полагая $\sigma_r = p_i$, мы должны имѣть $r = r_i$, а полагая $\sigma_r = 0$, мы должны имѣть $r = r_e$.

Такимъ образомъ

$$p_i = \frac{1}{2} AmE + \frac{B}{r_i^2}$$

$$0 = \frac{1}{2} AmE + \frac{B}{r_e^2}$$

откуда находимъ

$$B = \frac{p_i \cdot r_i^2 \cdot r_e^2}{r_e^2 - r_i^2}$$

$$AmE = \frac{-2p_i r_i^2}{r_e^2 - r_i^2}$$

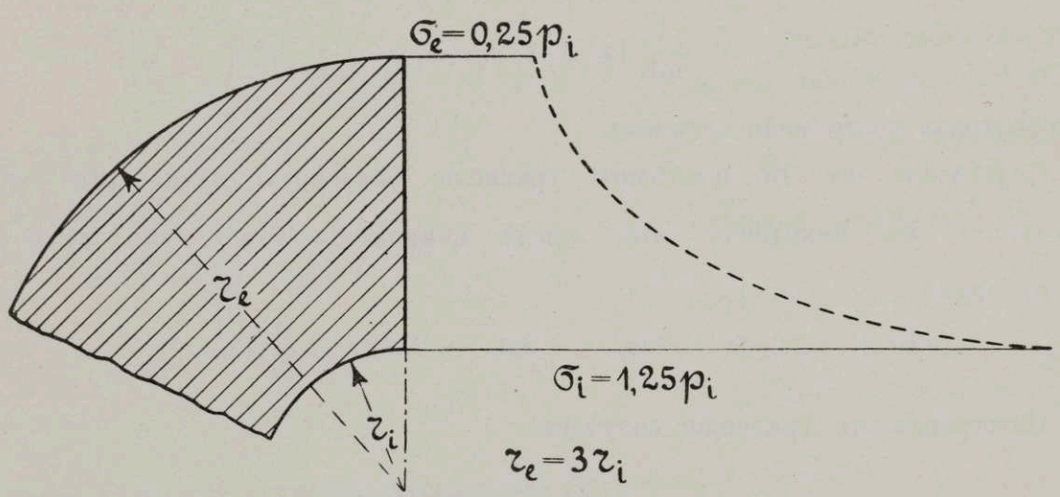
и теперь

$$\sigma_t = \frac{-p_i r_i^2}{r_e^2 - r_i^2}\left(1 + \frac{r_e^2}{r^2}\right) \quad \ldots\ldots (17).$$

Знакъ минусъ получился вслѣдствіе того, что при увеличеніи r напряженіе σ_t *уменьшается*, чего мы явно не ввели въ формулу. Зная, что σ_t есть напряженіе на растяженіе, и что по абсолютной величинѣ оно уменьшается съ увеличеніемъ r, мы въ дальнѣйшемъ этого знака минусъ писать не будемъ, считая напряженія на растяженіе величинами положительными.

По этому уравненію можно вычислить величину напряженія на разрывъ въ любой точкѣ діаметральнаго сѣченія, удаленной отъ центра цилиндра на разстояніе r. Распредѣленіе напряженій этихъ по толщинѣ стѣнки весьма полезно представить графически, что и сдѣлано на чер. 18 для частнаго случая:

$$r_e = 3r_i.$$



Чер. 18.

Какъ видно изъ формулы (и, конечно, и изъ построенной діаграммы), наибольшей величины напряженіе достигаетъ на *внутренней* поверхности цилиндра, непосредственно омываемой жидкостію, и при $r = r_i$ мы получаемъ

$$(\sigma_t)_{max} = \frac{p_i(r_i^2 + r_e^2)}{r_e^2 - r_i^2} \quad \ldots\ldots (18),$$

и для прочности стѣнки это наибольшее напряженіе должно быть меньше допускаемаго, такъ что уравненіе крѣпости стѣнки напишется въ видѣ

$$z \geqq \frac{p_i(r_i^2 + r_e^2)}{r_e^2 - r_i^2} \quad \ldots\ldots (19),$$

гдѣ z есть допускаемое напряженіе на разрывъ.

Это и есть знаменитая формула Ламѐ, по имени французскаго ученаго, который первый вывелъ ее научнымъ путемъ (въ 1852 году).

Обыкновенно формулу эту пишутъ въ другомъ видѣ, преобразуя ее такъ, чтобы она давала величину отношенія $\frac{r_e}{r_i}$ и не трудно видѣть, что она принимаетъ тогда видъ

$$\frac{r_e}{r_i} = \sqrt{\frac{z + p_i}{z - p_i}} \quad \ldots\ldots (20)\ *.$$

Изъ этой формулы можно вывести нѣсколько замѣчательныхъ слѣдствій.

1). Если выражать напряженіе и давленіе въ однихъ тѣхъ же единицахъ (напр. то и другое въ атмосферахъ или въ килограммахъ на квадратный миллиметръ), что и предположено при выводѣ формулы (18), то числовая величина наибольшаго напряженія всегда будетъ болѣе числовой величины внутренняго давленія; это значитъ, что $(\sigma_t)_{max} > p_i$, что видно прямо изъ формулы (18).

2). Если принять $z = p_i$, то изъ (20) получается $\frac{r_e}{r_i} = \infty$. Это значитъ, что при давленіи внутри цилиндра, равномъ или большемъ, чѣмъ z, *никакимъ увеличеніемъ толщины стѣнки* (даже безконечно большою толщиною ея) *нельзя достигнуть прочности сосуда*. Матеріалъ внутреннихъ слоевъ начинаетъ рваться и такой разрывъ послѣдовательно происходитъ по всей толщинѣ стѣнки, все, такъ сказать, ускоряясь по мѣрѣ утоненія ея сопротивляющейся части, остающейся послѣ разрыва внутреннихъ слоевъ. Итакъ, **въ практикѣ всегда можно дойти до нѣкотораго давленія, для котораго представляется совершенно невозможнымъ построить трубу или сосудъ, могущія его выдержать.**

Практика, однако, справилась и съ этой невозможностью, и инженеры сумѣли построить трубы и для такихъ давленій, которыя кажутся недопустимыми по формулѣ (20). Конечно, это достигнуто окольнымъ путемъ, посредствомъ составленія полной толщины стѣнки изъ ряда нѣсколькихъ концентрическихъ цилиндровъ, надѣваемыхъ при изготовленіи одинъ на другой съ нѣкоторой относительной расточкой, посредствомъ посадки въ горячемъ состояніи. Какъ показываютъ теорія и опытъ, возможно такую систему расчитать и изготовить такъ, что она выдержитъ давленіе значительно выше предѣльнаго, даваемаго формулою (20) для простой одиночной стѣнки. Такимъ именно образомъ устраиваются пушки. Входить здѣсь въ подробности, хотя и весьма любопытныя, по этому вопросу мы не имѣемъ возможности, и отсылаемъ интересующихся этимъ вопросомъ къ спеціальнымъ сочиненіямъ по Артиллеріи и Сопротивленію Матеріаловъ.

---

* Предшественницами формулы Ламѐ являются двѣ формулы, выведенныя, какъ уже сказано ранѣе, при совершенно произвольныхъ предположеніяхъ. Это формула Брикса и Барлова, появившіяся около 1830 года.

Бриксъ (Brix) предполагаетъ, что при дѣйствіи внутренняго давленія на толстостѣнный цилиндръ деформація его происходитъ такимъ образомъ, что т о л щ и н а с т ѣ н к и по радіальному направленію, т. е. величина $r_e - r_i$, н е м ѣ н я е т с я. При такомъ допущеніи Бриксъ получаетъ слѣдующую формулу:

$$\frac{r_e}{r_i} = e^{\frac{p_i}{z}}$$

гдѣ e есть основаніе Неперовыхъ логарифмовъ.

Барловъ (Barlow) же предполагаетъ, что при дѣйствіи внутренняго давленія деформація происходитъ такимъ образомъ, что н е м ѣ н я е т с я п л о щ а д ь п о п е р е ч н а г о с ѣ ч е н і я круглаго цилиндрическаго сосуда, т. е. величина $\pi(r_e^2 - r_i^2)$, и получаетъ при такомъ допущеніи формулу:

$$\frac{r_e}{r_i} = \frac{z}{z - p_i}.$$

Оба допущенія, какъ сказано ранѣе и какъ понятно всякому, совершенно произвольны и слѣдуетъ всегда пользоваться формулою Ламѐ или Винклера-Баха и Бредта.

По формулѣ Ламѐ (форм. 20) и должны расчитываться стѣнки трубъ въ томъ случаѣ, гдѣ пользованіе приближенной формулой Маріотта, которую сейчасъ выведемъ, даетъ уже замѣтную ошибку. Можно считать, что начиная съ давленія въ 50 атмосферъ необходимо уже прибѣгать къ формулѣ Ламѐ, хотя полезно провѣрять по ней толщины стѣнокъ даже и при давленіяхъ около 20 атмосферъ и выше.

При небольшихъ же давленіяхъ, такъ примѣрно ниже 20 атмосферъ, когда толщина стѣнки по сравненію съ діаметромъ выходитъ незначительною, въ практикѣ предпочитаютъ пользоваться болѣе простою формулою Маріотта, которая можетъ быть выведена сейчасъ же изъ формулы Ламѐ или же получена самостоятельно. Мы сдѣлаемъ то и другое.

При малыхъ давленіяхъ и малой толщинѣ стѣнки по сравненію съ діаметромъ, разница между наибольшимъ напряженіемъ на разрывъ стѣнки (на внутреннемъ радіусѣ) и наименьшимъ (на внѣшнемъ радіусѣ) настолько незначительна, что можно ею свободно пренебрегать и считать напряженіе во всемъ діаметральномъ сѣченіи *постояннымъ*. Это предположеніе и кладется въ основу формулы Маріотта.

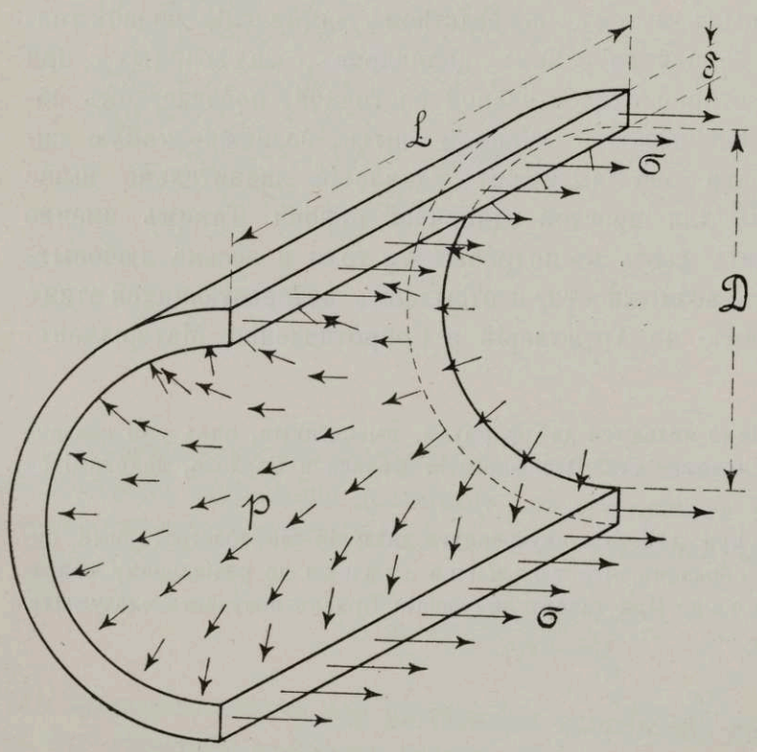
Напишемъ формулу Ламѐ въ видѣ

$$r_e = r_i \sqrt{1 + 2\frac{p_i}{z - p_i}}$$

и отбросимъ членъ p_i въ знаменателѣ, ибо p_i мало по сравненію съ z. Тогда имѣемъ

$$r_e = r_i \sqrt{1 + 2\frac{p_i}{z}}$$

или, приближенно, пользуясь опять малостію отношенія $\frac{p_i}{z}$,



Чер. 19.

$$r_e = r_i \left(1 + \frac{p_i}{z}\right), \quad \text{откуда}$$

$$r_e - r_i = \delta = \frac{r_i\, p_i}{z} \quad \ldots\ldots (21).$$

Полезно вывести формулу Маріотта и непосредственно, тѣмъ болѣе, что Бредтъ, и совершенно резонно, критикуетъ тотъ выводъ формулы Маріотта, который мы только что сдѣлали, на томъ основаніи, что обѣ формулы, Ламѐ и Маріотта, по сути дѣла основаны на совершенно различныхъ основныхъ предположеніяхъ.

Представимъ себѣ цилиндръ (трубу), открытый по концамъ и простирающійся неопредѣленно въ обѣ стороны. Выдѣлимъ мысленно двумя перпендикулярными къ оси его сѣченіями произвольную часть цилиндра съ длиною L. Проведемъ произвольное діаметральное сѣченіе и отнимемъ мысленно напр. правую половину цилиндра, замѣнивъ дѣйствіе ея на лѣвую соотвѣтственными силами (чер. 19).

Если считать, что въ діаметральномъ сѣченіи напряженія на растяженіе распредѣляются равномѣрно по всей его толщинѣ и, какъ сказано, и по длинѣ, то дѣйствіе давленія жидкости на правую половину цилиндра уравновѣшивается силами упругости,

возбужденными въ діаметральномъ сѣченіи, т. е. напряженіями растяженія. Напишемъ условіе равновѣсія, выражающее, что сумма проэкцій всѣхъ силъ на направленіе, перпендикулярное къ взятому нами діаметральному сѣченію, равна нулю.

Сумма силъ упругости будетъ сумма всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на два сѣченія съ площадями $L \times \delta$, т. е.

$$2 \cdot L \cdot \delta \cdot \sigma \cdot$$

Давленіе же жидкости на кривую стѣнку (полуцилиндръ) по направленію AB, $\perp$ къ діаметральной нашей плоскости по теоремѣ о давленіи на кривую стѣнку (см. стр. 9) равно давленію жидкости на проэкцію этой стѣнки, сдѣланную на направленіе, перпендикулярное къ тому, по которому требуется вычислить слагающую давленія, т. е. въ нашемъ случаѣ на наше діаметральное сѣченіе. Проэкція эта будетъ само діаметральное сѣченіе, такъ что сказанная слагающая давленія жидкости будетъ

$$D \cdot L \cdot p_i$$

и условіе равновѣсія напишется въ видѣ

$$D \cdot L \cdot p_i = 2L \cdot \delta \cdot \sigma$$

откуда и получаемъ извѣстную формулу Маріотта:

$$\delta = \frac{D \cdot p_i}{2\sigma} \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{D \cdot p_i}{2\delta},$$

а если z есть допускаемое напраженіе на разрывъ, то ур. крѣпости стѣнки будетъ

$$\frac{Dp_i}{2\delta} = z \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (22).$$

Для сравненія формулъ Маріотта и Ламѐ возьмемъ три примѣра.

Примѣръ 1. Цилиндрическая чугунная труба съ данными:

$$D_i = 300; \; D_e = 670; \; p_i = 200\text{atm} \; (= 2 \text{ kg/}\square\text{mm}).$$

По формулѣ Ламѐ получаемъ наибольшее напряженіе равнымъ

$$z = 3 \text{ kg/}\square\text{mm}$$

а по Маріотту

$$z = 1{,}62 \text{ kg/}\square\text{mm}$$

Разница, какъ видно, очень значительна.

Примѣръ 2. Цилиндрическая чугунная труба съ данными:

$$D_i = 300; \; D_e = 320; \; p_i = 20 \text{ atm}.$$

По формулѣ Ламѐ наибольшее напряженіе будетъ

$$z = 3 \text{ kg/}\square\text{mm}$$

а по Маріотту

$$z = 2{,}94 \text{ kg/}\square\text{mm}$$

такъ что разница здѣсь уже довольно незначительна.

Примѣръ 3. Цилиндрическая желѣзная труба съ данными:

$$D_i = 50; \; z = 10; \; p_i = 600\text{atm}.$$

По формулѣ Ламѐ

$$\frac{D_e}{D_i} = \sqrt{\frac{10+6}{10-6}} = 2; \quad \delta = \frac{D_e - D_i}{2} = 25.$$

а по Маріотту

$$z = \frac{50 \cdot 6}{2 \cdot 25} = 6, \quad \text{или,} \quad \text{при } z = 10; \quad \delta = \frac{50 \cdot 6}{2 \cdot 10} = 15 .$$

Разница, какъ видно, очень значительна.

§ 5. Все, что было сказано о расчетѣ по формуламъ Ламѐ и Маріотта, относится къ тому случаю, когда по концамъ труба открыта, такъ что давленіе жидкости, находящейся въ ней, не вызываетъ никакихъ силъ вдоль оси трубы, не стремится растянуть ее по длинѣ. Такіе случаи, какъ уже сказано, часто встрѣчаются въ практикѣ. Но не менѣе часто встрѣчается и другой случай (о которомъ сейчасъ будемъ говорить далѣе подробно), когда на концѣ своемъ труба закрыта, или имѣетъ поворотъ, колѣно, а на другомъ—закрѣплена. Въ этомъ случаѣ давленіе находящейся въ трубѣ жидкости дѣйствуетъ также и растягивающимъ вдоль трубы образомъ и формулы Ламѐ и Маріотта становятся невѣрными и непримѣнимыми.

Для точнаго расчета такихъ трубъ (или сосудовъ) необходимо тогда пользоваться исправленными формулами, гдѣ принято во вниманіе и дѣйствіе продольной силы, растягивающей цилиндръ и по направленію его оси.

Вообще говоря, величина силы, растягивающей трубу по направленію ея оси, зависитъ отъ многихъ условій, и прежде всего отъ степени податливости частей трубопровода, какъ объяснено подробно далѣе, такъ что *общая* формула для расчета трубъ должна была бы быть составлена такимъ образомъ, чтобы давать отношеніе наружнаго и внутренняго діаметровъ, или же, все равно, толщину стѣнки трубы въ томъ общемъ случаѣ, когда по направленію оси трубы дѣйствуетъ произвольная сила, которая можетъ быть и болѣе давленія на площадь поперечнаго сѣченія внутренней поверхности трубы, и равна ему и менѣе его. Но въ виду того, что такая формула была бы очень сложной, и затѣмъ въ виду того, что въ большинствѣ случаевъ практики величина силы, растягивающей трубу по продольному направленію бываетъ или строго равна силѣ давленія на площадь поперечнаго сѣченія внутренняго цилиндра трубы, т. е. силѣ $P = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot p_i$, или же можетъ быть съ достаточною степенію точности принимаема равною этой силѣ P, въ практикѣ выведены и употребляются формулы именно для этого случая. Но полезно помнить, что въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ величина растягивающей трубу по осевому направленію силы бываетъ значительно болѣе, нежели сила $P = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot p_i$, какъ это, напримѣръ, имѣетъ мѣсто въ случаѣ, показанномъ на чер. 25, приводимыя ниже формулы Баха и Бредта и другія, имъ подобныя, даютъ результаты нѣсколько грѣшащія противъ точности, хотя обыкновенно ошибка эта не имѣетъ большого значенія для практики.

Для расчета трубы въ томъ случаѣ, когда растягивающая трубу по осевому направленію сила равна давленію жидкости на площадь поперечнаго сѣченія трубы по внутреннему цилиндру, т. е. величинѣ $\frac{\pi D_i^2}{4} \cdot p_i$, формулы даны *Винклеромъ* (и впослѣдствіи, независимо отъ него, Бахомъ) и *Бредтомъ*.

Формула *Винклера—Баха* пишется такимъ образомъ:

$$\frac{D_e}{D_i} = \sqrt{\frac{z + 0{,}4 p_i}{z - 1{,}3 p_i}} \quad \cdots\cdots \quad (23),$$

а формула *Бредта* такъ:

$$\frac{D_e}{D_i} = \sqrt{\frac{z + 0{,}47 p_i}{z - 1{,}33 p_i}} \quad \cdots\cdots \quad (24),$$

гдѣ всѣ обозначенія сохранены прежнія.

Хотя по величинѣ числовыхъ коэффиціентовъ формулы Винклера-Баха и Бредта различаются весьма немного, но по сути дѣла между ними имѣется огромная разница, которая и выступаетъ въ другихъ частныхъ случаяхъ, какъ увидимъ немного далѣе. Въ виду того, что вопросы, затронутые Бредтомъ въ той его статьѣ, которая посвящена выводу разсматриваемой формулы и напечатана въ „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“ за 1893 годъ, №№ 30 и 31, суть капитальные вопросы Сопротивленія Матеріаловъ, о которыхъ въ литературѣ по большей части совершенно умалчивается, я считаю полезнымъ остановиться нѣсколько на тѣхъ вопросахъ, которые затрогиваетъ Бредтъ и которые рано или поздно должны быть разрѣшены опытомъ.

Обычный, всѣмъ извѣстный, способъ расчета деталей въ томъ случаѣ, когда матеріалъ подвергается дѣйствію нѣсколькихъ напряженій, нормальныхъ (растяженіе, сжатіе) и касательныхъ или тангенціальныхъ (сдвигъ), состоитъ въ примѣненіи формулы *Сенъ-Венана*, излагаемой во всѣхъ курсахъ Сопротивленія Матеріаловъ. Въ этой формулѣ опредѣляется *наибольшее удлиненіе*, которое получаетъ матеріалъ подъ дѣйствіемъ произвольнаго числа нормальныхъ и касательныхъ напряженій и затѣмъ расчетъ прочности детали производится въ предположеніи, что напряженіе на растяженіе по направленію этого наибольшаго растяженія и есть самое опасное для матеріала, и что матеріалъ разрушится именно подъ дѣйствіемъ этого напряженія. Но положеніе это неоспоримыми и положительными опытами не доказано и многіе инженеры считаютъ, и конечно съ полнымъ правомъ, что можно въ основу расчета класть и другое положеніе, именно—считать, что матеріалъ разрушится не подъ дѣйствіемъ напряженія, направленнаго по наибольшему удлиненію, а подъ дѣйствіемъ **наибольшаго напряженія**, получающагося въ матеріалѣ при дѣйствіи ряда различныхъ отдѣльныхъ напряженій, такъ какъ, вообще говоря, это наибольшее напряженіе не тождественно съ напряженіемъ, получаемымъ умноженіемъ наибольшаго удлиненія на коэффиціентъ упругости, какъ это дѣлается при выводѣ формулы Сенъ-Венана.

Бредтъ путемъ весьма интересныхъ и остроумныхъ соображеній, которыя мы здѣсь, къ сожалѣнію, не можемъ излагать за недостаткомъ мѣста, приходитъ къ тому, что гораздо правильнѣе полагать въ основу расчета наибольшее напряженіе, а не удлиненіе, и пытается даже объяснить происхожденіе явленія поперечнаго сокращенія при растяженіи, которое, при принятой въ обычной теоріи Сопротивленія Матеріаловъ гипотезѣ объ однородности матеріала по всѣмъ тремъ направленіямъ осей координатъ, является совершенно непонятнымъ и принимается какъ опытный фактъ, независимо отъ того, что этотъ фактъ противорѣчитъ самой гипотезѣ.

Отсылая интересующихся къ упомянутой статьѣ Бредта, мы здѣсь лишь дадимъ результатъ его соображеній, именно исправленіе формулы Ламѐ для случая, когда дѣйствуетъ и продольная сила, равная $\frac{\pi D_i^2}{4} \cdot p_i$.

Положеніе, принятое *Бредтомъ*, состоитъ въ томъ, что отъ дѣйствія силъ, одноименныхъ съ главнымъ напряженіемъ, которое безъ принятія ихъ въ расчетъ было бы опаснымъ, главное напряженіе уменьшается, а отъ дѣйствія силъ противоположнаго характера главное напряженіе увеличивается, причемъ это увеличеніе и уменьшеніе происходятъ въ нѣкоторомъ постоянномъ числовомъ отношеніи, совершенно подобно тому, какъ въ обычной теоріи Сопротивленія Матеріаловъ происходитъ измѣненіе не главнаго напряженія, а главнаго удлиненія (или укороченія, вообще, деформаціи). Такимъ образомъ, если мы возьмемъ наше наибольшее напряженіе, выражаемое формулою (18), то оно измѣнится, при дѣйствіи растягивающей трубу продольной силы, такимъ образомъ, что изъ него вычтется часть напряженія, вызываемаго этой продольной силой въ матеріалѣ стѣнки. Напряженіе отъ продольной силы $P = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot p_i = \pi r_i^2 \cdot p_i$ въ поперечномъ сѣченіи трубы будетъ, очевидно, $= \frac{\pi r_i^2 p_i}{\pi (r_e^2 - r_i^2)}$. Такимъ образомъ, по Бредту,

напряженіе $(\sigma_t)_{max}$ уменьшится на нѣкоторую долю этой величины, положимъ на $\frac{1}{m}$, гдѣ $m > 1$. Но и существованіе на внутренней поверхности по радіальному направленію напряженія $\sigma_r = p_i$ вызоветъ, по Бредту, прибавку къ главному напряженію величины $\frac{1}{m_1} \cdot \sigma_r = \frac{1}{m_1} \cdot p_i$, гдѣ m_1 опять > 1, но вообще, можетъ быть отлично отъ m.

Такимъ образомъ, полное касательное напряженіе будетъ равно

$$\sigma_{mx} = \frac{p_i(r_i^2 + r_e^2)}{r_e^2 - r_i^2} - \frac{1}{m} \cdot \frac{p_i r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} + \frac{1}{m_1} \cdot p_i \quad \ldots\ldots (25).$$

Изъ этого уравненія и получается формула Бредта для опредѣленія толщины стѣнки.

Именно, мы получаемъ условіе прочности трубы, полагая $\sigma_{mx} = z$, гдѣ z есть допускаемое напряженіе на разрывъ стѣнки, такъ что имѣемъ

$$z = \frac{p_i (r_i^2 + r_e^2)}{r_e^2 - r_i^2} - \frac{1}{m} \cdot \frac{p_i r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} + \frac{1}{m_1} \cdot p_i \quad \ldots\ldots (26).$$

На основаніи своихъ соображеній Бредтъ пришелъ къ тому, что величины коэффиціентовъ m и m_1 могутъ быть приняты такими

$$m = 5 \; ; \qquad m_1 = 3.$$

Подставляя эти величины въ уравненіе (26) получаемъ изъ него:

$$\frac{r_e}{r_i} = \sqrt{\frac{z + p_i\left(1 - \frac{1}{m} - \frac{1}{m_1}\right)}{z - p_i\left(1 + \frac{1}{m_1}\right)}} = \sqrt{\frac{z + 0{,}47 p_i}{z - 1{,}33 p_i}} \quad \ldots\ldots (27).$$

Это и есть формула Бредта для расчета трубъ, подверженныхъ внутри давленію p_i и имѣющихъ по концамъ днища, или вообще растягиваемыхъ продольною силою, равною давленію жидкости на площадь внутренняго діаметра трубы, т.-е. $\pi r_i^2 \cdot p_i$.

Что касается формулы Винклера-Баха, то она выведена при помощи формулы Сенъ-Венана, въ предположеніи, что наиболѣе опасное напряженіе въ матеріалѣ направлено по направленію наибольшаго удлиненія. Выводъ этой формулы можно найти во всякомъ подробномъ курсѣ Сопротивленія Матеріаловъ, и прежде всего — въ сочиненіи Баха: „Упругость и Крѣпость Матеріаловъ“.

Значительное различіе между формулами *Бредта* и *Винклера-Баха* обнаруживается сразу въ томъ случаѣ, если мы попробуемъ примѣнить ихъ къ тому частному случаю, когда вдоль оси трубы никакихъ продольныхъ силъ не дѣйствуетъ, что будетъ, напримѣръ въ томъ случаѣ, если труба по концамъ открыта и свободна. Изъ формулы Баха, которую надобно взять здѣсь въ ея общемъ видѣ, получается для этого случая, какъ и слѣдовало ожидать, знакомая намъ формула Ламѐ; изъ формулы же Бредта, полагая въ ней для случая отсутствія продольныхъ силъ $m = 0$, мы получаемъ

$$\frac{r_e}{r_i} = \sqrt{\frac{z + 0{,}67 p_i}{z - 1{,}33 p_i}} \quad \ldots\ldots (28),$$

что существенно разнится отъ формулы Ламѐ.

Какъ уже сказано выше, только новые точные опыты могутъ рѣшить, кто правъ, Бредтъ ли или Винклеръ-Бахъ.

Считаемъ еще не безполезнымъ привести здѣсь формулу Бредта для того болѣе общаго случая, когда наружное давленіе p_e на трубу довольно значительно, такъ что

его нельзя считать равнымъ нулю по сравненію съ внутреннимъ давленіемъ p_i. Для такого случая формула Бредта напишется слѣдующимъ образомъ

$$\frac{r_e}{r_i} = \sqrt{\frac{z + p_i\left(1 - \frac{1}{m} - \frac{1}{m_1}\right)}{z - p_i\left(1 + \frac{1}{m_1}\right) + p_e\left(2 - \frac{1}{m}\right)}} \quad \ldots\ldots (29).$$

Полагая опять здѣсь $m = 5$ и $m_1 = 3$, получаемъ

$$\frac{r_e}{r_i} = \sqrt{\frac{z + 0{,}47p_i}{z - 1{,}33p_i + 1{,}8p_e}} \quad \ldots\ldots (30).$$

Слѣдуетъ указать, что эта общая формула примѣнима и въ случаѣ трубъ сжимаемыхъ, т.-е. къ тому случаю, когда p_e будетъ болѣе p_i. Для такого случая нужно только считать величину напряженія z отрицательной и съ знакомъ минусъ написать ее, поэтому, въ формулѣ (30), такъ что будемъ имѣть, называя здѣсь допускаемое напряженіе черезъ k

$$\frac{r_e}{r_i} = \sqrt{\frac{-k + 0{,}47p_i}{-k - 1{,}33p_i + 1{,}8p_e}} \quad \ldots\ldots (31).$$

Если внутреннее давленіе настолько незначительно по сравненію съ наружнымъ, что его можно принять равнымъ нулю, то формула получаетъ упрощенный видъ

$$\frac{r_e}{r_i} = \sqrt{\frac{-k}{-k + 1{,}8p_e}} = \sqrt{\frac{k}{k - 1{,}8p_e}} \quad \ldots\ldots (32).$$

Изъ формулъ Винклера-Баха и Бредта мы выводимъ заключенія, подобныя тѣмъ, которыя получили и изъ формулы Ламѐ, именно:

1). Если выражать напряженіе и давленіе въ однѣхъ и тѣхъ же единицахъ, что и предположено при выводѣ формулъ Баха и Бредта, то числовая величина наибольшаго напряженія всегда будетъ болѣе числовой величины внутренняго давленія.

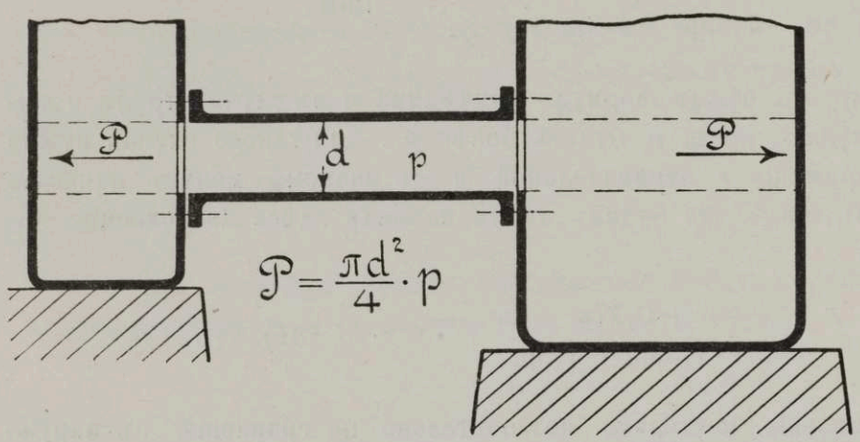
2). Если принять $z = 1{,}3p_i$ (у Баха) или $z = 1{,}33p_i$ (у Бредта), то получается $\frac{D_e}{D_i} = \infty$, такъ что при давленіи внутри цилиндра, равномъ или большемъ $\frac{z}{1{,}3}$ или $\frac{z}{1{,}33}$, никакимъ увеличеніемъ толщины стѣнки нельзя достигнуть прочности сосуда.

3). Наибольшее напряженіе матеріала имѣетъ мѣсто на внутренней поверхности стѣнки.

Въ дальнѣйшія подробности не входимъ, отсылая интересующихся формулою Баха къ его сочиненію „Упругость и Крѣпость матеріаловъ“, а Бредта — къ названной выше статьѣ его въ Журналѣ Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ.

§ 6. Какъ уже было сказано ранѣе, формулы Ламѐ и Маріотта, относятся къ трубѣ такъ сказать *безконечной*, простирающейся неопредѣленно въ обѣ стороны. На самомъ дѣлѣ въ дѣйствительности такихъ трубъ *нѣтъ* и *не можетъ быть*; всякій трубопроводъ гдѣ нибудь начинается и гдѣ нибудь оканчивается; по концамъ онъ всегда примыкаетъ къ какимъ нибудь резервуарамъ, сообщить которые для перетеченія жидкости и составляетъ цѣль его устройства. Посмотримъ, какъ существованіе концовъ у трубопровода вліяетъ на условія его прочности. Здѣсь надо различать два возможныхъ случая.

I). Трубопроводъ **совершенно прямой** и на концахъ примыкаетъ *прямо къ резервуарамъ* или вообще къ тѣмъ вмѣстилищамъ, которые онъ долженъ сообщить (чер. 20). Въ этомъ случаѣ трубы отъ дѣйствія давленія жидкости подвергаются растяженію въ продольныхъ сѣченіяхъ, тому растяженію, которое мы предполагали при выводѣ формулъ Ламѐ или Маріотта. Каждый же изъ резервуаровъ испытываетъ на часть стѣнки, противоположную мѣсту входа въ него трубы, неуравновѣшенное свободное давленіе, равное силѣ давленія жидкости на поперечное сѣченіе трубы, т. е. $\frac{\pi d^2}{4} \cdot p$ *. Каждая изъ такихъ двухъ равныхъ и противоположныхъ силъ P стремится сдвинуть свой резервуаръ съ мѣста, и если резервуары могутъ свободно двигаться и не скрѣплены съ трубопроводомъ, то они и отъѣдутъ одинъ отъ другого. Если они могутъ свободно двигаться, но скрѣплены съ трубопроводомъ, который является единственной связію между ними, то понятно, что въ каждомъ поперечномъ сѣченіи труба подвергнется напряженію на разрывъ, вызываемому силою P. Если между резервуарами труба не цѣльная, а имѣетъ одно или нѣсколько соединеній, то каждое изъ такихъ соединеніи въ этомъ случаѣ тоже подвергнется дѣйствію растягивающей силы P. Наконецъ, если резервуары крѣпко прикрѣплены къ своимъ фундаментамъ фундаментными болтами (или просто такъ тяжелы, что одно треніе ихъ по фундаменту гораздо больше, чѣмъ сила P), то въ этомъ послѣднемъ случаѣ трубопроводъ не подвергнется никакому разрывающему напряженію въ поперечномъ сѣченіи.

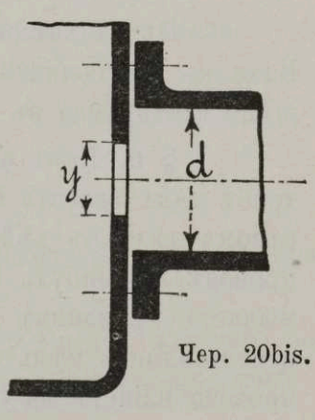


Чер. 20.

Въ большинствѣ случаевъ практики имѣетъ мѣсто именно тотъ случай, что резервуары удерживаются или большимъ треніемъ отъ вѣса, или отъ затяжки фундаментныхъ болтовъ, такъ что при устройствѣ трубъ и ихъ соединеній въ этомъ случаѣ можно бы продольною силою P пренебрегать. Но для того, чтобы не вводить въ серіи трубъ такихъ мелкихъ подраздѣленій, какъ трубы, лежащія между неподвижными резервуарами и трубы, могущія гдѣ либо подвергнуться вліянію продольной силы (ибо такое подраздѣленіе усложнило бы заготовку трубъ и ввело бы опасность перепутать трубы двухъ разныхъ категорій), принято и для такого выгоднаго случая все таки строить обычныя, ходовыя трубы и ихъ соединенія съ такими размѣрами, какъ будто бы продольная сила имѣлась. Только въ спеціальныхъ случаяхъ, напримѣръ когда трубопроводъ безъ продольной силы очень коротокъ и строится для спеціальнаго назначенія или же очень длиненъ, какъ напримѣръ водопроводная магистраль или водоводъ, можно нѣсколько

---

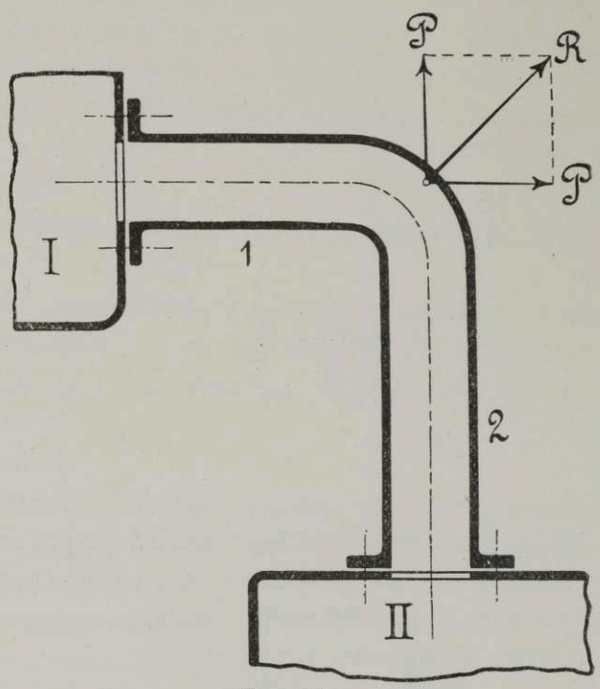
* Не трудно при помощи чер. 20bis убѣдиться, что величина давленія, стремящагося отодвинуть каждый резервуаръ, совершенно не зависитъ отъ діаметра y отверстія, прорѣзаннаго въ стѣнкѣ, къ которой примыкаетъ труба, и равна всегда $\frac{\pi d^2}{4} \cdot p$, независимо отъ діаметра y, все равно, будетъ ли онъ равенъ d или нулю, или произвольной величинѣ. Въ превосходномъ сочиненіи Фидлера, изъ котораго мы заимствовали дополнительную III главу, однако допущена авторомъ ошибка; именно онъ утверждаетъ (стр. 37), что давленіе, стремящееся отодвинуть резервуаръ, зависитъ отъ діаметра y прорѣза въ стѣнкѣ.



Чер. 20bis.

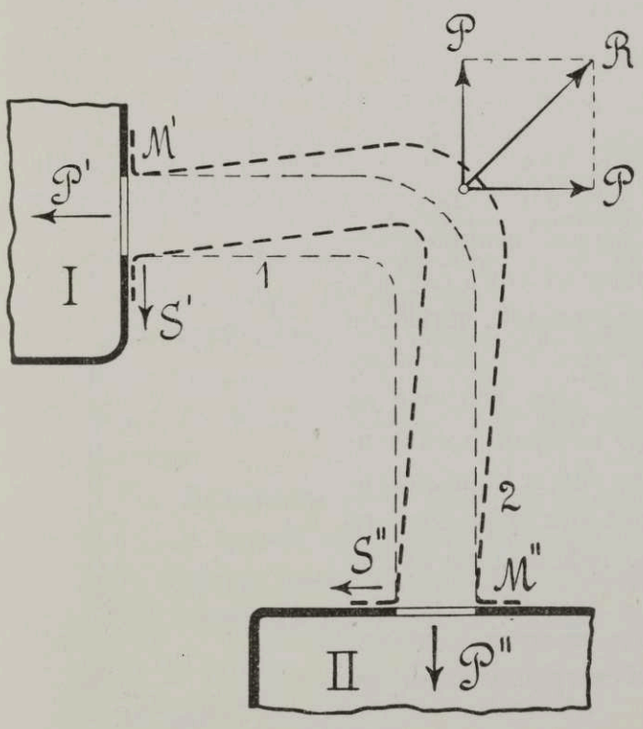
съэкономить, придавая ему размѣры, высчитанные при отсутствіи силы P. Вообще же это не дѣлается.

II). Трубопроводъ выходитъ изъ резервуара и затѣмъ **загибается**, положимъ, *на прямой уголъ*, а потомъ гдѣ нибудь прикрѣпляется къ другому резервуару (чер. 21). Въ этомъ случаѣ давленіе жидкости на мѣсто закругленія трубы даетъ по направленію осей каждой вѣтви трубы слагающую, равную $P = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p$, какъ это видно изъ извѣстной намъ теоремы о давленіи на кривую стѣнку. Очевидно, что слагающая эта стремится *разорвать* каждое изъ поперечныхъ сѣченій каждой вѣтви трубы, и обыкновенно говорятъ, что стремится разорвать съ силою, равною P. Но полезно замѣтить, что, строго говоря, это не совсѣмъ такъ, хотя при расчетѣ и въ практикѣ всегда вводится вся сила $P = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p$. Но для яснаго пониманія сути явленія, а также для уясненія нѣкоторыхъ явленій вырыванія раструбовъ и сальниковъ, полезно разобрать дѣло поточнѣе.



Чер. 21.

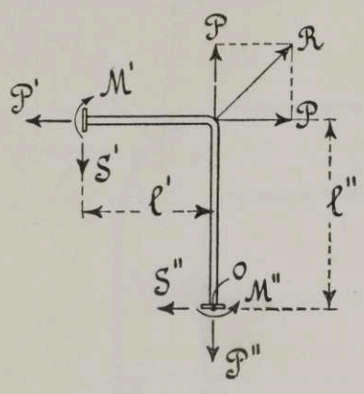
Давленія жидкости на стѣнки въ прямыхъ частяхъ трубы вездѣ направлены по радіусамъ и вездѣ взаимно уничтожаются благодаря сопротивленію матеріала трубы. Что же касается мѣста закругленія или колѣна, то здѣсь дѣло обстоитъ иначе. Какъ мы знаемъ, вообще говоря, въ случаѣ дѣйствія давленія жидкости на кривую стѣнку всѣ давленія въ суммѣ **не приводятся къ одной равнодѣйствующей**, какъ это часто думаютъ, а даютъ силу и пáру, такъ что *не можетъ быть и рѣчи* о „полномъ давленіи на стѣнку“, а можно говорить только о суммѣ слагающихъ всѣхъ элементарныхъ давленій, взятыхъ по извѣстному направленію, или, все равно, о *давленіи (полномъ) на стѣнку по извѣстному направленію*. При такомъ вычисленіи пáра силъ сокращается, хотя, конечно, не перестаетъ существовать въ дѣйствительности. Для насъ достаточно ограничиться тѣмъ, что мы примемъ, что по направленію каждой вѣтви трубы дѣйствуетъ слагающая давленій, равная, по закону Гидростатики, давленію на проэкцію кривой стѣнки на плоскость, перпендикулярную къ оси, т. е. давленію на площадь $\frac{\pi d^2}{4}$ поперечнаго сѣченія трубы. Эту силу назовемъ черезъ P, такъ что $P = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p$. Вмѣсто давленія жидкости на кривую часть трубы мы приложимъ теперь къ трубѣ двѣ взаимно-перпендикулярныя силы P,



Чер. 22.

которыя можно сложить въ одну силу R, идущую подъ угломъ въ 45° къ осямъ обѣихъ вѣтвей.

Подъ дѣйствіемъ силы R трубопроводъ будетъ деформироваться приблизительно такъ, какъ показано на чер. 22: онъ вытянется и колѣно нѣсколько изогнется; изгибу этому сопротивляются мѣста прикрѣпленія трубъ къ резервуарамъ, гдѣ возбудятся извѣстные моменты ущемленія, положимъ M' и M'' и силы сдвига S' и S''; кромѣ того, въ поперечныхъ сѣченіяхъ вѣтвей возбудятся силы растяженія P' и P''.



Чер. 23.

Отрѣжемъ теперь мысленно оба резервуара отъ трубы возлѣ самыхъ мѣстъ прикрѣпленія трубъ къ резервуарамъ и замѣнимъ дѣйствіе резервуаровъ на трубопроводъ (чер. 23):

1) моментами M' и M'',
2) силами сдвига S' и S'',
3) силами растяженія P' и P''.

Напишемъ теперь условія равновѣсія трубопровода, какъ плоскаго тѣла, ибо всѣ наши силы и моменты лежатъ въ плоскости, проходящей черезъ ось нашего трубопровода; стало быть, мы будемъ имѣть два уравненія проэкцій на оси обѣихъ вѣтвей (на чертежѣ на горизонтальную и вертикальную линію) и уравненіе моментовъ, которое напишемъ, беря за центръ моментовъ точку O *.

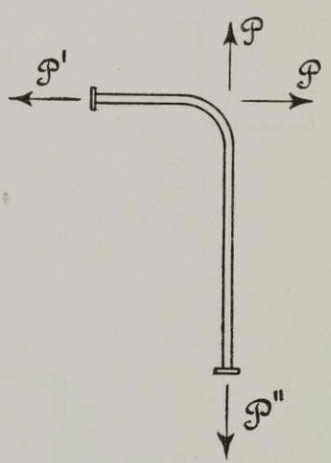
Получаемъ слѣдующія три уравненія:

$$P' - P + S'' = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (33),$$
$$P'' - P + S' = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (34),$$
$$M' - S'l' - P'l'' + Pl'' - M'' = 0 \quad \ldots\ldots \quad (35),$$

и изъ послѣдняго уравненія

$$P' = \frac{M' - M'' + Pl'' - S'l'}{l''} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (36).$$

Въ эти три уравненія входятъ, какъ видно, *шесть* неизвѣстныхъ величинъ: M' и M'', S' и S'', P' и P''. Опредѣлить ихъ изъ написанныхъ трехъ уравненій **невозможно**, такъ что задача наша есть задача *статически-неопредѣленная* и можетъ быть рѣшена только въ томъ случаѣ, если мы примемъ во вниманіе величины деформацій, имѣющія мѣсто при разсматриваемомъ нами дѣйствіи силъ. Но въ такомъ видѣ задача будетъ слишкомъ сложна и все таки рѣшеніе ея будетъ имѣть мало значенія для практики, которая предпочитаетъ довольствоваться при расчетахъ хотя бы и приближенными, но простыми рѣшеніями задачъ, лишь бы рѣшенія эти не шли въ ущербъ прочности, а наоборотъ, грѣшили бы лучше въ пользу прочности.



Чер. 24.

Разсмотримъ здѣсь, при простѣйшихъ предположеніяхъ, два предѣльныхъ случая, наиболѣе часто встрѣчающіеся въ практикѣ.

А). Положимъ, что оба конца трубопровода прикрѣплены къ соотвѣтствующимъ резервуарамъ, какъ предположено и на чер. 21, но пре-

* Прогибомъ трубы и происходящими отъ этого измѣненіями величинъ плечъ пренебрегаемъ, такъ какъ деформаціи эти весьма незначительны; такое допущеніе дѣлается всегда въ обычной теоріи изгиба, которой оно составляетъ главную основу, будучи извѣстно подъ именемъ *гипотезы* или *допущенія Навье*.

небрежемъ силами сдвига S' и S'' и моментами ущемленія M' и M''. Тогда мы имѣемъ просто (чер. 24):

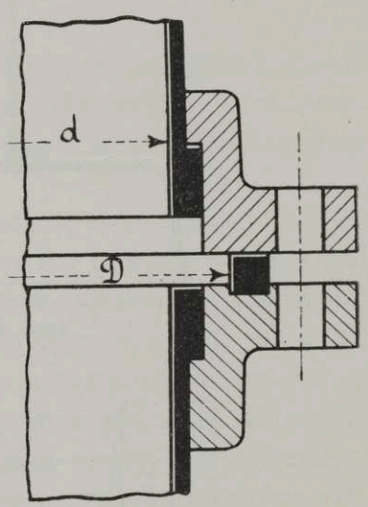
изъ (33) : $P' = P$;

изъ (34) : $P'' = P$.

Это предположеніе часто дѣлается въ практикѣ ради простоты расчета. Резюмируя полученный результатъ словами, мы скажемъ, что весь трубопроводъ (обѣ его вѣтви) долженъ быть расчитанъ, кромѣ расчета на разрывъ по образующей, еще и на продольную силу, равную полному давленію жидкости на площадь поперечнаго сѣченія, т. е. на силу $P = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p$. Эту силу должны безопасно выдерживать какъ сами трубы, такъ и ихъ соединенія, имѣющіяся между резервуарами, какъ на горизонтальной, такъ и на вертикальной частяхъ трубопровода *.

Такой случай дѣйствія силъ, какъ уже сказано, почти всегда предполагается на практикѣ и всѣ трубы и ихъ соединенія расчитываются поэтому непремѣнно и на продольную (осевую) силу P, равную давленію жидкости на площадь поперечнаго сѣченія трубы, т. е. $\frac{\pi d^2}{4} \cdot p$.

Но и этого мало. На самомъ дѣлѣ, какъ сейчасъ разберемъ, въ томъ случаѣ, если трубопроводъ не цѣльный, а состоитъ изъ нѣсколькихъ отдѣльныхъ трубъ, соединенныхъ соединеніями произвольной конструкціи, продольная сила не будетъ просто равна силѣ давленія жидкости на площадь поперечнаго сѣченія трубы, а можетъ быть **даже больше ея**, въ зависимости отъ конструкціи соединенія. Для поясненія положимъ, что трубы соединяются по способу, изображенному на табл. 80, фиг. 1—2. Въ такомъ случаѣ сила, стремящаяся раздвинуть двѣ части трубопровода, будетъ уже не просто P, равное $\frac{\pi d^2}{4} \cdot p$, т. е. давленію на площадь поперечнаго сѣченія трубы. Въ нашемъ случаѣ это будетъ давленіе на площадь сказаннаго поперечнаго сѣченія + еще давленіе на торецъ трубы и на часть флянца, ограниченную снаружи внутреннимъ краемъ резиноваго кольца, т. е. въ суммѣ—давленіе на *всю свободную площадь* въ соединеніи, подверженную давленію жидкости, т. е. на площадь всего круга съ діаметромъ D, чер. 25.



Чер. 25.

Обстоятельство это необходимо постоянно имѣть въ виду, ибо разница между площадями круговъ D и d, а слѣд. и ошибка въ опредѣленіи продольной силы, и соотв. напряженія въ болтахъ флянцевъ и другихъ деталяхъ, **можетъ быть иногда весьма значительна.**

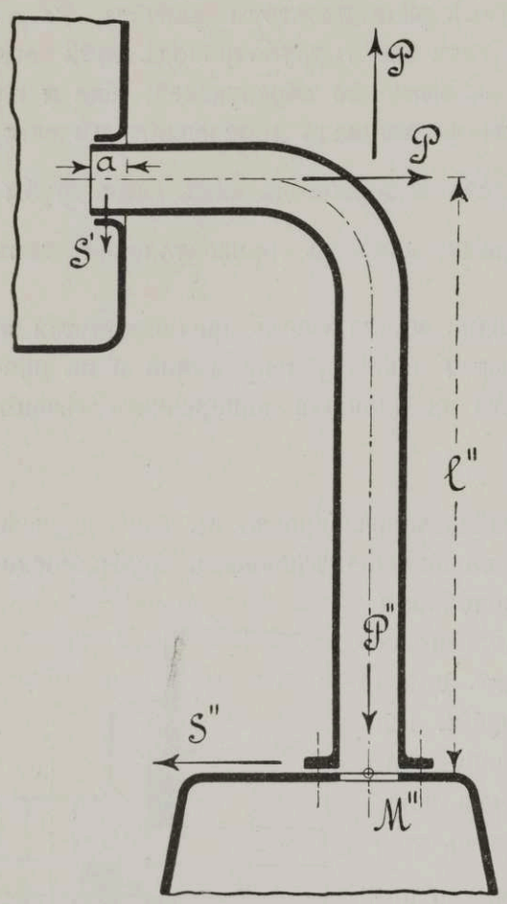
В). Положимъ (чер. 26), что одинъ конецъ трубопровода привернутъ къ резервуару, а другой вставленъ въ него хотя и герметично, но *совершенно свободно*, такъ что можетъ скользить въ немъ безпрепятственно. Въ этомъ случаѣ мы имѣемъ, пренебрегая незначительною силою сдвига S', слѣдующія соотношенія:

$$P' = 0 \quad \text{и} \quad M' = 0,$$
$$P'' = P,$$
$$Pl'' = M'',$$
$$S'' = P.$$

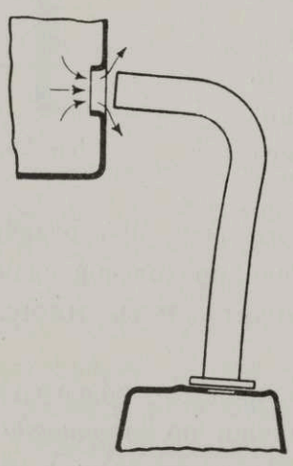
---

* Напоминаемъ еще разъ, что выраженія „вертикальный“ и „горизонтальный“ мы употребляемъ только ради простоты выраженія, примѣнительно къ расположенію клише въ книгѣ. Вообще же говоря, направленіе дѣйствія силы тяжести (вертикальное) и перпендикулярное къ нему (горизонтальное) не играютъ въ нашемъ вопросѣ никакой роли и оси обѣихъ частей разсматриваемой трубы могутъ быть расположены какъ угодно въ пространствѣ, оставаясь только перпендикулярными одна къ другой.

Изъ этихъ соотношеній для насъ наиболѣе интереснымъ является уравненіе $M'' = Pl''$. Оно показываетъ намъ, что въ этомъ случаѣ вырывающему дѣйствію горизонтальной силы P сопротивляется **только само вертикальное колѣно** благодаря своему *отгибу*. Весьма легко можетъ случиться (и въ практикѣ не разъ и случалось), что въ нижнемъ сѣченіи трубы та величина момента M'', которая необходима для уравновѣшиванія момента Pl'' по ур. $M'' = Pl''$, разовьется въ матеріалѣ трубы только *при столь значительномъ отклоненіи вертикальной вѣтви трубы* (въ особенности если ея длина l'' значительна), что при этомъ горизонтальная часть трубы уже **вылѣзетъ** изъ своего гнѣзда и выпадетъ наружу (чер. 27). Это значитъ, что труба *выскочила* изъ своей оболочки (изъ сальника или раструба) и заключенная въ ней жидкость **вырывается наружу**, обжигая людей, если это паръ, удушая ихъ, если это ядовитый газъ, или заливая помѣщеніе, если это жидкость. Такіе казусы, понятно, не должны быть допускаемы, и потому при подобномъ расположеніи трубъ *необходимо непремѣнно принимать спеціальныя мѣры къ тому, чтобы вырыванія, подобнаго вышеописанному, не могло происходить*, а для этого можно поступать **троякимъ** образомъ:



Чер. 26.



Чер. 27.

I). Или дѣлать длину запуска a трубы въ раструбъ достаточно большой и именно, тѣмъ больше, чѣмъ длиннѣе часть l'' трубы (а сѣченіе трубы все таки достаточно прочнымъ для сопротивленія моменту M'').

II). Или дѣлать вертикальную часть трубы настолько *жесткой*, чтобы отгибъ ея былъ незначителенъ.

III). Или, наконецъ, уравновѣсить силу P посредствомъ особыхъ, спеціально для этого устроенныхъ и достаточно прочныхъ и жесткихъ деталей, вовсе не позволяя этой силѣ передаваться отгибающимъ образомъ на трубу.

Подробнѣе объ этихъ средствахъ будемъ говорить дальше.

Понятно, что вертикальная часть трубы и всѣ находящіяся на ней соединенія должны быть, подобно тому, какъ и въ первомъ случаѣ, расчитаны на силу P, и даже, на основаніи того, что сказано на стр. 35, на силу бо́льшую чѣмъ P, именно, на силу $P + Q$, гдѣ Q есть давленіе на наибольшую кольцевую площадь свободнаго торца трубы съ діаметромъ D, чер. 25.

Въ результатѣ всего сказаннаго мы можемъ установить слѣдующее правило для расчета трубъ и ихъ соединеній на осевую силу:

Всѣ соединенія трубъ (и самыя трубы) должны расчитываться на наибольшую возможную продольную (осевую) силу,

вычисляемую какъ сила давленія на площадь наибольшаго свободнаго поперечнаго круга, подвергающагося внутреннему давленію жидкости. Тамъ, гдѣ имѣются соединенія, не способныя выдерживать осевой силы (раструбы, сальники, расширители и т. п.), должны быть приняты спеціальныя мѣры для надежнаго воспринятія или уравновѣшиванія этой осевой силы, и тогда толщина стѣнокъ такихъ трубъ можетъ быть высчитываема просто по формуламъ Маріотта или Ламе, а не по Баху или Бредту.

3). Вліяніе внѣшняго давленія.

§ 7. Въ тѣхъ случаяхъ, когда трубопроводъ окруженъ какой нибудь средой, оказывающею на него давленіе, которое въ большинствѣ случаевъ бываетъ равномѣрнымъ, давленіе это само по себѣ стремится *сплющить* трубу. Но такому сплющиванію сопротивляется давленіе находящейся въ трубѣ жидкости. Поэтому, окончательный результатъ будетъ зависѣть отъ того, что̀ больше, давленіе ли внутри трубы, или давленіе наружной среды. Въ большинствѣ случаевъ практики имѣетъ мѣсто первое, и при расчетѣ стѣнокъ трубъ мы это и предполагали, расчитывая трубы на внутреннее давленіе, причемъ подъ величиною этого давленія мы понимали *разность* между наибольшимъ возможнымъ внутреннимъ давленіемъ и наименьшимъ возможнымъ наружнымъ давленіемъ.

Наиболѣе обычнымъ случаемъ будетъ тотъ, когда трубопроводъ окруженъ всегда воздухомъ, и когда давленіе въ немъ всегда остается выше давленія окружающей атмосферы. Въ этомъ случаѣ трубы просто расчитываются на разность обѣихъ сказанныхъ давленій по выведеннымъ ранѣе формуламъ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда трубопроводъ лежитъ въ землѣ, какъ это бываетъ обыкновенно при водопроводахъ, глубина заложенія трубъ бываетъ всегда сравнительно такъ незначительна, что внутреннее давленіе воды (или другой жидкости: керосина, нефти и т. п.) остается постоянно бо́льшимъ, нежели давленіе грунта, такъ что и въ этомъ случаѣ принято трубы расчитывать только на разрывъ избыткомъ внутренняго давленія. Правда, въ томъ случаѣ, когда трубопроводъ стоитъ *пустымъ*, безъ жидкости, давленіе грунта стремится сплющить трубу, но для сопротивленія этому, при обычныхъ глубинахъ заложенія трубъ, оказывается достаточно той толщины стѣнокъ, которая имъ придается по расчету на разрывъ съ прибавкой нѣкоторой практической добавки, о которой сказано далѣе.

Но въ нѣкоторыхъ спеціальныхъ случаяхъ дѣло можетъ обстоять и иначе, и потому считаемъ необходимымъ обратить здѣсь вниманіе на это въ высшей степени важное обстоятельство.

Однимъ изъ такихъ случаевъ будетъ тотъ, когда давленіе идущей по трубамъ жидкости меньше, чѣмъ давленіе окружающей атмосферы. Такой случай бываетъ при трубахъ воздушныхъ насосовъ, выкачивающихъ воздухъ изъ различныхъ резервуаровъ, встрѣчающихся въ практикѣ разныхъ производствъ. Здѣсь трубы подвергаются сплющивающему давленію, почти равному давленію окружающаго воздуха, и должны быть конструированы сообразно этому. Для ясности напомнимъ, что способность трубъ сопротивляться наружному и внутреннему давленію—двѣ совершенно разныя вещи.

Если круглая труба подвергается *внутреннему* (избыточному) давленію, то при абсолютно правильной, математически круглой формѣ поперечнаго сѣченія, труба въ каждомъ діаметральномъ сѣченіи подвергается **только одному чистому растяженію**, и находится при этомъ въ *устойчивомъ* состояніи равновѣсія. Если форма сѣченія *не вполнѣ* круглая, то стѣнки подвергаются и **напряженію на изгибъ.** Но при тѣхъ незначительныхъ отклоненіяхъ отъ правильной круговой формы, какія встрѣчаются въ хорошей практикѣ, эти напряженія на изгибъ весьма незначительны, упругое же равновѣсіе

трубы все таки бываетъ **устойчивое**, такъ что давленіе само стремится какъ бы выпрямить трубу.

Если же круглая труба подвергается избыточному **наружному** (внѣшнему) давленію, то она находится тогда въ *неустойчивомъ* состояніи равновѣсія, наружное давленіе стремится, если труба не вполнѣ круглая, увеличить эту неправильность формы, прогибая трубу *все болѣе и болѣе внутрь*, и, при слабости трубы, такой прогибъ можетъ дойти до того, что труба будетъ на нѣкоторой части длины совершенно *сплющена въ лепешку*. Условія, въ которыхъ находится такая труба, совершенно подобны тѣмъ, въ которыхъ находятся жаровыя трубы паровыхъ котловъ, и въ такихъ случаяхъ толщина стѣнокъ такихъ трубъ должна быть провѣрена по формулѣ Баха, данной имъ для расчета жаровыхъ трубъ котловъ.

Случаи, когда труба можетъ иногда очутиться въ такихъ условіяхъ, что наружное давленіе станетъ больше внутренняго, бываютъ въ практикѣ, и часто возможность такого казуса остается незамѣченной конструкторами. Такъ было, напримѣръ *, съ Русскимъ броненосцемъ „*Ретвизанъ*“ во время первой аттаки Русскаго флота на внѣшнемъ рейдѣ крѣпости Портъ-Артуръ Японскими миноносцами въ памятную ночь на 27 Января 1904 г. Какъ извѣстно, броненосецъ необыкновенно быстро наполнился водою, не смотря на существованіе такъ-называемыхъ водонепроницаемыхъ переборокъ, и только близость мѣста нападенія къ гавани спасла судно отъ неминуемаго потопленія. Одною изъ причинъ, способствовавшихъ такому быстрому заливанію многихъ отсѣковъ судна водою, было то обстоятельство, что конструкторы (къ нашей чести не русскіе), проводя вентиляціонныя трубы по всему броненосцу, слѣдовательно мѣстами и сквозь „водонепроницаемыя“ переборки, *забыли* (!!) расчитать ихъ на тотъ, самый главный въ жизни броненосца моментъ, когда онъ будетъ драться съ непріятелемъ и когда нѣкоторыя изъ его отдѣленій могутъ до верху наполниться водою. Понятно, что въ такомъ случаѣ вентиляціонныя трубы будутъ подвергаться сплющиванію давленіемъ, равнымъ, для нижнихъ трубъ, давленію столба воды почти во всю высоту корпуса судна. Трубы „Ретвизана“ не выдержали этого давленія, когда судно, вслѣдствіе минной пробоины, наполнилось въ пробитомъ отдѣленіи водою, сплющились, между прочимъ и въ мѣстахъ пропуска сквозь переборки, и „водонепроницаемыя“ переборки оказались, поэтому, *очень проницаемыми* и вода залила сразу много отдѣленій.

Этотъ примѣръ показываетъ намъ, какъ внимательно инженеръ долженъ взвѣшивать напередъ всѣ возможные случаи дѣйствія случайныхъ силъ и всѣ возможныя условія работы деталей.

Для лежащихъ въ землѣ трубъ опасность сплющиванія внѣшними силами можетъ явиться въ томъ случаѣ, когда по поверхности земли надъ этими трубами проѣзжаютъ телѣги съ очень тяжелыми грузами, напр. артиллерія, локомобили и пр. или когда надъ ними проходятъ поѣзда желѣзной дороги. Въ особенности это бываетъ опасно для тонкостѣнныхъ трубъ, каковыми являются желѣзныя и стальныя водопроводныя и т. п. трубы.

Опасности сплющиванія подвергаются также рукава, проводящіе воздухъ въ водолазные колокола и въ костюмы водолазовъ, затѣмъ трубы тоннелей (примѣры коихъ приведены въ отдѣлѣ свертыванія флянцевъ сосудовъ), корпуса подводныхъ лодокъ и другія подобныя этому по условіямъ работы трубы и сосуды.

Надежныхъ формулъ для расчета толщины стѣнокъ во всѣхъ такихъ случаяхъ **не имѣется** и даже такія серьезныя детали, какъ корпуса подводныхъ лодокъ, расчитываются по эмпирическимъ формуламъ, въ раціональности которыхъ можно сильно сомнѣваться.

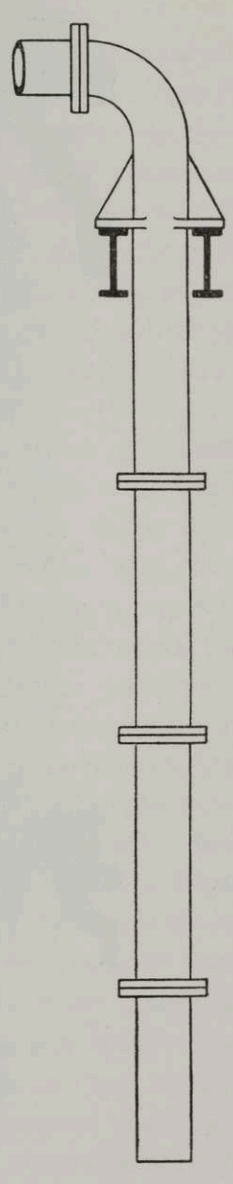
---

* по разсказамъ очевидцевъ.

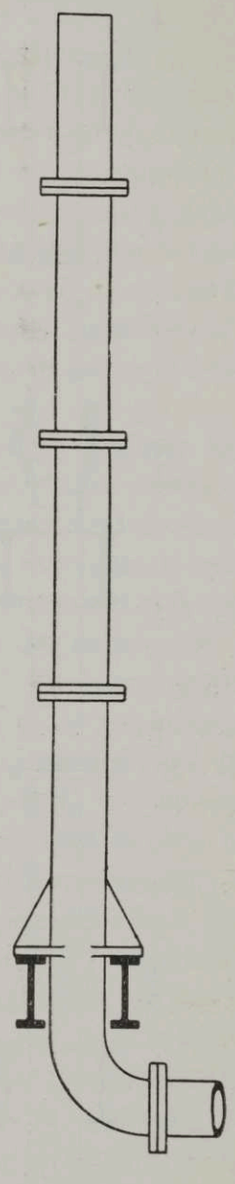
4). Вліяніе собственнаго вѣса трубъ и вѣса заключенной въ нихъ жидкости.

§ 8. Вообще говоря, вѣсъ трубопровода со всѣми соединеніями и вѣсъ жидкости въ немъ являются силами незначительными по сравненію съ полнымъ давленіемъ жидкости на стѣнки трубопровода, въ особенности если давленіе высокое, и вліяніе этого вѣса на прочные размѣры стѣнокъ и соединеній незначительно. Здѣсь надо различить два случая.

А). Трубопроводъ идетъ *горизонтально* или лишь съ небольшимъ наклономъ къ горизонту. Въ этомъ случаѣ вѣсъ трубопровода воспринимается какими нибудь подходящими средствами. Такъ, водопроводныя трубы поддерживаются прямо грунтомъ; иногда же для поддержки трубъ дѣлаютъ особыя каменныя или бетонныя опоры, напр. если въ каменномъ каналѣ идутъ трубы для гидравлической передачи работы. Паропроводы и воздухопроводы чаще прикрѣпляются къ частямъ сооруженій, лежащимъ выше ихъ (къ стропиламъ, потолку, и т. п.) или же къ стѣнамъ; прикрѣпленіе достигается при помощи различныхъ хомутовъ, подвѣсокъ, кронштеиновъ и пр. Нѣсколько примѣровъ такихъ деталей показано далѣе, въ главѣ о паропроводахъ.



Чер. 28.

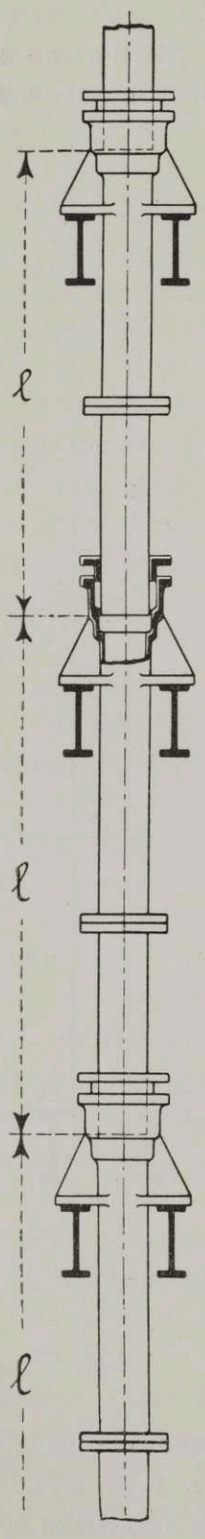


Чер. 29.

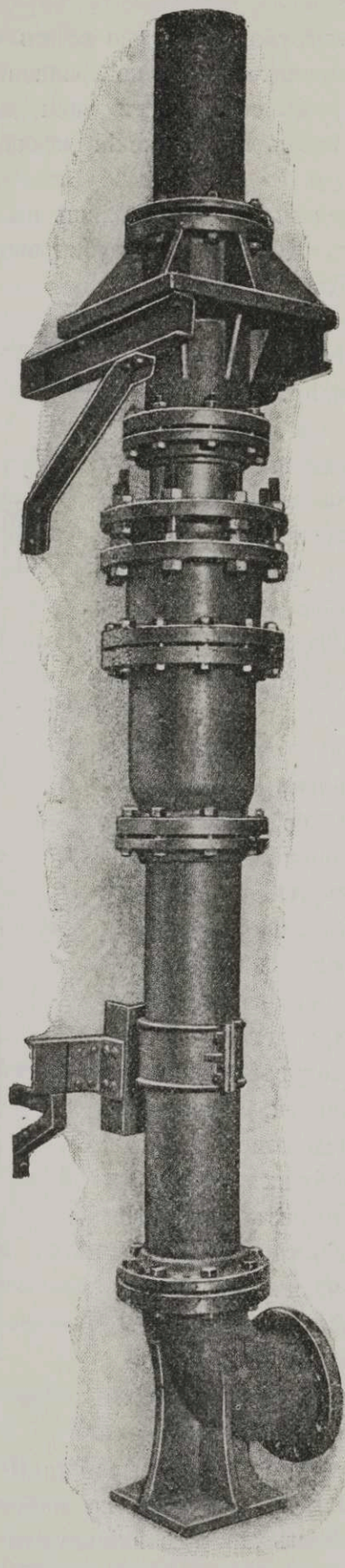
Если бы даже число такихъ поддерживающихъ деталей было бы и довольно незначительно, то и тогда напряженіе отъ собственнаго вѣса трубопровода и соединеній было бы невелико, какъ въ самихъ трубахъ, такъ и въ деталяхъ ихъ соединеній. Но кромѣ прочности приходится обращать вниманіе еще и на другое обстоятельство, именно на *герметичность* соединеній. Та деформація трубы или какой нибудь детали соединенія (флянца, болтовъ и пр.), которая вполнѣ допустима съ точки зрѣнія прочности, можетъ оказаться уже настолько измѣняющею относительное положеніе двухъ трубъ и частей ихъ соединеній, что появится *течь* жидкости изъ трубъ. И вотъ для того, чтобы, вслѣдствіе такого прогиба трубопровода и деформаціи мѣстъ соединеній, не происходило бы течи, приходится имѣть прогибъ этотъ незначительнымъ и ставить поддержки для поддержанія трубопровода гораздо чаще, чѣмъ того требовали бы одни условія прочности. Поэтому, разстоянія между поддержками выработаны **практически** и не могутъ быть опредѣлены расчетомъ. Вліяніемъ же вѣса на напряженіе въ горизонтальномъ трубопроводѣ можно пренебрегать. Тамъ же, гдѣ вліяніе это могло бы оказаться замѣтнымъ, какъ напримѣръ въ длинныхъ трубопроводахъ, опускаемыхъ на дно рѣкъ и т. п., прибѣгаютъ къ особымъ мѣрамъ для того чтобы уменьшить сгибающій трубы моментъ, именно, къ устройству шаровыхъ сочлененій, о которыхъ сказано далѣе.

В). Трубопроводъ идетъ *вертикально* или лишь съ незначительнымъ наклономъ къ вертикали. Въ этомъ случаѣ, при большой длинѣ трубопровода, вѣсъ его можетъ оказать очень большое вліяніе и о немъ никакъ нельзя забывать.

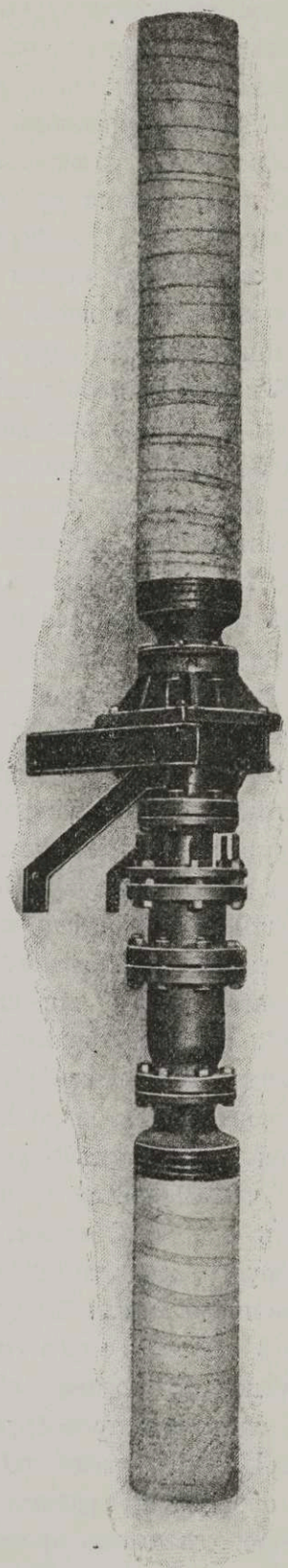
Въ самомъ дѣлѣ, положимъ что мы трубу поддержали только въ *одномъ* мѣстѣ, или вверху (чер. 28) или внизу (чер. 29). Очевидно, что въ этомъ случаѣ **весь** вѣсъ



Чер. 30.



Чер. 31.



Чер. 32.

трубопровода передастся на это **единственное** мѣсто опоры, и если длина трубопровода значительна (а въ глубокихъ шахтахъ она бываетъ *сотни метровъ*), то вѣсъ этотъ явится такой значительной нагрузкой, которой не въ состояніи выдержать ни сама

труба, ни соединенія ея. Смотря по мѣсту закрѣпленія, характеръ напряженія въ трубопроводѣ будетъ, конечно, различенъ.

Если трубопроводъ получитъ свою единственную опору *вверху*, такъ что будетъ подвѣшенъ за свою верхнюю точку (фиг. 28), то въ этомъ случаѣ онъ подвергнется напряженіямъ **на растяженіе**, какъ длинный стержень. Если соединенія сдѣланы раструбными, то при значительной длинѣ трубопровода всѣ трубы будутъ вырваны изъ раструбовъ; поэтому, избѣгаютъ дѣлать раструбныя соединенія въ вертикальныхъ трубопроводахъ даже и въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ трубопроводъ не особенно длиненъ, и гдѣ онъ поддержанъ даже и въ нѣсколькихъ мѣстахъ своей длины. Если соединенія сдѣланы на флянцахъ, то и въ этомъ случаѣ при значительной длинѣ трубъ напряженія въ болтахъ достигнутъ опасныхъ величинъ, а герметичность соединеній и подавно пострадаетъ.

Если трубопроводъ будетъ подпертъ въ *самой низшей* своей точкѣ (чер. 29), то въ этомъ случаѣ онъ подвергнется не растяженію, а **сжатію**, и притомъ сжатію, сопровождаемому изгибомъ (такъ называемому *продольному изгибу*), которому подвергается всякій длинный стержень, длина котораго превышаетъ его поперечные размѣры въ нѣсколько десятковъ разъ. Вслѣдствіе такого дѣйствія силъ, нашъ длинный стержень или трубопроводъ подвергнется и сжатію и изгибу и въ одномъ или нѣсколькихъ мѣстахъ онъ выгнется въ бокъ, и такъ какъ въ этомъ случаѣ упругое равновѣсіе — *неустойчивое* (подобно тому, какъ въ трубѣ, нагруженной наружнымъ давленіемъ), то начавшійся прогибъ стремится идти все далѣе и далѣе, и дѣло обыкновенно кончается разрушеніемъ трубопровода.

Имѣя въ виду все вышесказанное, никогда не устанавливаютъ длинные вертикальные (или слабо наклонные къ вертикали) трубопроводы лишь на одной опорѣ. Имъ даютъ довольно много опоръ, дѣля трубопроводъ на части такой длины, чтобы каждая изъ такихъ частей была бы и прочна и герметична при дѣйствіи растягивающей нагрузки отъ вѣса (если трубы подвѣшены) или была бы прочна на продольный изгибъ (при дѣйствіи сжимающей нагрузки отъ вѣса); герметичность въ этомъ послѣднемъ случаѣ не страдаетъ, ибо флянцы прижимаются другъ къ другу. Чаще всего подобные случаи встрѣчаются при установкѣ трубъ въ глубокихъ шахтахъ и тогда для поддержки трубъ кладутъ по глубинѣ шахты нѣсколько поперечныхъ балокъ, на которыя трубы и опираются своими лапами. Но и въ этомъ случаѣ нельзя еще считать, что прочность и герметичность системы обезпечены. Дѣло въ томъ, что такая система будетъ представлять изъ себя стержень, нагруженный по всей длинѣ и подпертый во многихъ точкахъ этой длины. Такая система будетъ системой *статически-неопредѣленною* и въ ней нагрузка на каждую опору будетъ зависѣть отъ степени деформаціи каждой вѣтви трубы, отъ степени податливости опоръ и грунта и пр. Поэтому, для того, чтобы **дѣйствительно заставить** на каждую опору передаться *только ту часть вѣса трубопровода*, которая нами къ этому назначена, а также и для того, чтобы распредѣлить подобнымъ же образомъ (или даже совсѣмъ уничтожить) напряженія въ трубахъ, получающіяся вслѣдствіе измѣненій температуры, въ трубопроводъ вводятъ извѣстное число *расширителей* или *компенсаторовъ*, обладающихъ тѣмъ свойствомъ, что они **не способны** передавать черезъ себя продольныя силы. Если, напр., у каждой опоры будетъ находиться по расширителю, то на каждую опору передастся только часть вѣса трубы между двумя сосѣдними расширителями, т. е. вѣсъ части съ длиною l, чер. 30. Перспективный видъ части подобнаго трубопровода показанъ на чер. 31, гдѣ представлена часть нагнетательной трубы отъ шахтнаго водоотливного насоса. Подобная же труба шахтнаго паропровода представлена на чер. 32.

5). Вліяніе осадки стѣнъ и фундаментовъ и деформацій стѣнокъ, связанныхъ съ трубопроводомъ.

§ 9. Эти вліянія по характеру своему отличаются отъ предыдущихъ, въ томъ именно смыслѣ, что онѣ, какъ обусловленныя работой внутреннихъ, частичныхъ силъ, являются **настолько могущественными**, что *нечего и думать о томъ, чтобы трубы могли сопротивляться имъ*. Приходится, наоборотъ, думать о томъ, какъ бы уберечь трубы отъ ихъ разрушительнаго дѣйствія.

Положимъ, что трубопроводъ идетъ, будучи поддержанъ какими нибудь опорами, накрѣпко связанными со стѣною или фундаментомъ. Если теперь, вслѣдствіе какихъ бы то ни было причинъ, фундаментъ или стѣна начнутъ *садиться*, то при этомъ развиваются силы настолько огромныя, что имъ часто не въ состояніи сопротивляться и сама та постройка, въ которой онѣ развиваются (если не было при самомъ созданіи ея принято особыхъ мѣръ): стѣны даютъ трещины, а иногда и валятся, фундаменты тоже косятся или трескаются, стѣнки котельныхъ топокъ лопаются и пр. Нечего, поэтому, и думать о томъ, чтобы идущій по этой стѣнѣ трубопроводъ, который въ смыслѣ прочности является по сравненію съ ней какъ бы ниточкой, могъ бы оказать сопротивленіе этимъ могущественнымъ силамъ. При малѣйшемъ сопротивленіи онъ будетъ разорванъ. Поэтому, тамъ, гдѣ ожидаются подобныя перемѣщенія, необходимо дать трубопроводу **возможность** свободно слѣдовать за всѣми возможными измѣненіями въ состояніи того сооруженія, къ которому онъ прикрѣпленъ. Мы взяли примѣръ слишкомъ рѣзкій—растрескиваніе стѣны; трещины можетъ и не быть, а осадка—быть. Подобныя же явленія представляются и въ другихъ случаяхъ, напр.: при проведеніи трубъ прикрѣпляемыхъ къ стѣнкамъ корпуса корабля, который, какъ отъ вліянія морскихъ волнъ, силъ инерціи двигателя и пр., такъ и отъ измѣненій температуры, постоянно деформируется; при проведеніи трубъ вдоль паровознаго котла, который отъ измѣненій температуры (холодный и горячій котелъ) деформируется весьма значительно, температура же жидкости въ трубѣ можетъ быть совсѣмъ иная, чѣмъ температура холоднаго или горячаго котла, и во многихъ подобныхъ случаяхъ.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ необходимо дать трубопроводу возможность участвовать во всѣхъ такихъ случайныхъ перемѣщеніяхъ скрѣпленныхъ съ нимъ стѣнокъ безъ нарушенія герметичности его соединеній и безъ разрушенія и ихъ и самого трубопровода. Для этого или необходимо сдѣлать достаточно гибкимъ и тягучимъ весь трубопроводъ сплошь, или же ввести въ него спеціальныя гибкія или удобоподвижныя части, или же, наконецъ, воспользоваться готовыми уже лишними частями, введенными въ трубопроводъ, именно — мѣстами соединеній и имъ сообщить свойства гибкости или удобоподвижности, въ степени, достаточной для парализованія вреднаго вліянія всевозможныхъ перемѣщеній скрѣпленныхъ съ трубопроводомъ стѣнокъ.

Въ практикѣ пользуются всѣми этими тремя средствами, которыя, кстати сказать, примѣняются и въ другомъ, подобномъ же случаѣ, именно, для парализованія вреднаго вліянія силъ, получающихся вслѣдствіе расширенія (или укороченія) самого трубопровода отъ измѣненій температуры, о которомъ говорится въ слѣдующемъ §. Въ практикѣ часто даже оба эти вліянія, т. е. вліяніе перемѣщеній частей сооруженія, къ которымъ прикрѣпленъ трубопроводъ, и вліяніе расширенія самого трубопровода, встрѣчаются одновременно и дѣйствія ихъ складываются вмѣстѣ, а для парализованія ихъ пользуются одними и тѣми же перечисленными сейчасъ тремя средствами. Подобный случай имѣемъ, напримѣръ, въ паропроводѣ отъ пароходныхъ котловъ къ машинамъ.

Итакъ, разсмотримъ вкратцѣ всѣ три указанныя средства, именно:

1).—*Гибкія трубы.*

2).—*Расширители* и *спеціальныя шаровыя сочлененія.*

3).—*Раструбы* и *удобоподвижныя соединенія на флянцахъ съ линзами* и т. п.

Гибкія трубы состоятъ или изъ ряда короткихъ весьма многочисленныхъ элементовъ, имѣющихъ подвижность одинъ относительно другого во всѣхъ или же только въ извѣстныхъ направленіяхъ, такъ что ось всего трубопровода, въ извѣстныхъ предѣлахъ, можетъ представлять изъ себя въ пространствѣ произвольную ломаную линію, состоящую изъ весьма большого числа прямыхъ элементовъ, или же вся труба бываетъ гибка, такъ что можетъ быть изогнута въ произвольномъ своемъ мѣстѣ. Трубы перваго рода обыкновенно бываютъ металлическія, трубы же второго рода состоятъ обыкновенно изъ мягкихъ матеріаловъ—ткани, резины и пр. Подобныя гибкія трубы, того или другого рода, употребляются не только тамъ, гдѣ приходится ожидать небольшихъ, случайныхъ перемѣщеній тѣхъ тѣлъ, съ которыми связанъ трубопроводъ, но весьма часто и въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ самый трубопроводъ, по условіямъ работы, приходится сильно перемѣщать и изгибать. Такіе случаи мы имѣемъ, напримѣръ, въ рукавахъ пожарныхъ и другихъ насосовъ, въ рукавахъ, по которымъ накачивается воздухъ въ водолазные колокола и костюмы водолазовъ, въ трубахъ, подводящихъ воду подъ давленіемъ или сжатый воздухъ къ гидравлическимъ и пневматическимъ машинамъ-орудіямъ (клепальнымъ, чеканкамъ, сверлильнымъ, подъемнымъ кранамъ и пр. и пр.) и т. п.

Гибкія трубы являются идеальнымъ устройствомъ для полнаго парализованія вредныхъ вліяній случайныхъ перемѣщеній частей сооруженій, съ которыми связаны трубы, но онѣ могутъ быть устраиваемы лишь для сравнительно невысокихъ давленій и небольшихъ діаметровъ, и въ практикѣ крупнаго машиностроенія встрѣчаются довольно рѣдко. Детальныхъ свѣдѣній относительно металлическихъ гибкихъ трубъ въ литературѣ совершенно не имѣется, и поэтому въ нашемъ Атласѣ примѣры такихъ трубъ отсутствуютъ.

Иногда гибкой дѣлается только часть трубы, которая тогда представляетъ изъ себя, собственно, то, что называется гибкимъ расширителемъ. Таковы лировидные расширители и простѣйшая ихъ форма—колѣна.

Расширители или *компенсаторы* и *спеціальныя шаровыя сочлененія* встрѣчаются весьма часто. Расширитель дозволяетъ обыкновенно перемѣщеніе только по одному направленію, такъ что для приданія части трубопровода подвижности по нѣсколькимъ или даже по всевозможнымъ направленіямъ, приходится вводить въ него нѣсколько расширителей. Шаровыя сочлененія позволяютъ, обыкновенно, поворотъ вокругъ произвольной оси, проходящей черезъ данную точку трубопровода. Иногда приходится соединять то и другое (расширители и шаровыя сочлененія) вмѣстѣ. Примѣры подобныхъ устройствъ имѣются на различныхъ таблицахъ Атласа и подробнѣе о нихъ говорится при описаніи расширителей и шаровыхъ сочлененій.

Однимъ изъ весьма распространенныхъ примѣровъ упрощеннаго расширителя являются простыя раструбныя соединенія трубъ, которыя дозволяютъ, хотя и въ небольшихъ предѣлахъ, перемѣщенія каждой трубы относительно сосѣдней, какъ въ смыслѣ поворота одной трубы относительно другой на небольшой уголъ, такъ и въ смыслѣ относительнаго скольженія ихъ вдоль оси. Такія соединенія употребляются обыкновенно для трубъ, укладываемыхъ въ землю, и прекрасно парализуютъ вредное вліяніе неравномѣрной осадки земли. Объ этомъ подробнѣе говорится далѣе, при разсмотрѣніи раструбныхъ соединеній.

Слѣдуетъ указать, что главнымъ назначеніемъ спеціально конструированныхъ расширителей и шаровыхъ сочлененій является, однако, не воспринятіе небольшихъ, случайныхъ перемѣщеній частей сооруженій, съ которыми скрѣплены трубы, съ цѣлью устранить могущія возникнуть значительныя напряженія, а доставленіе возможности для трубъ слѣдовать за *значительными*, такъ сказать *конечными* и заранѣе извѣстными перемѣщеніями тѣхъ частей, къ которымъ прикрѣплены трубы. Для разсматриваемой же нами здѣсь цѣли обыкновенно бываетъ достаточно упрощеннаго рас-

ширителя въ формѣ раструба, дозволяемыя которымъ перемѣщенія вполнѣ достаточны для того, чтобы трубопроводъ безъ вреда для себя могъ бы слѣдовать за всѣми случайными перемѣщеніями сооруженій, и упрощеннаго шарового сочлененія, дозволяющаго поворотъ тоже на уголъ несравненно меньшій, нежели тотъ, который дозволяютъ настоящія шаровыя сочлененія. Такія упрощенныя шаровыя сочлененія получаются простымъ измѣненіемъ обыкновеннаго соединенія на флянцахъ, путемъ введенія въ нихъ прокладокъ, имѣющихъ форму *линзы*, т. е. ограниченныхъ отрѣзками двухъ шаровыхъ поверхностей, центры которыхъ *не* совпадаютъ. Такое соединеніе позволяетъ обѣимъ соединеннымъ имъ трубамъ имѣть нѣкоторый, хотя и незначительный поворотъ одна относительно другой, котораго бываетъ вполнѣ достаточно для разсматриваемой нами цѣли. Примѣровъ такихъ соединеній въ Атласѣ имѣется нѣсколько. Они подробно разобраны далѣе.

По сравненію съ настоящимъ шаровымъ сочлененіемъ, у котораго имѣется почти полный шаръ, соединеніе съ линзами представляетъ то удобство, что оно выходитъ гораздо уютнѣе, занимая менѣе мѣста и будучи легче, а цѣли своей удовлетворяетъ вполнѣ.

Рѣшить—каковы наибольшія величины ожидаемыхъ и наибольшихъ перемѣщеній частей сооруженій, сообразно чему въ одномъ случаѣ придется для парализованія вреднаго вліянія ихъ прибѣгнуть, при значительныхъ перемѣщеніяхъ, къ настоящимъ расширителямъ и шаровымъ сочлененіямъ, а въ другомъ (при малыхъ ожидаемыхъ перемѣщеніяхъ) возможно будетъ удовольствоваться упрощенными конструкціями — раструбами и линзами—и когда, наконецъ, можно и совсѣмъ обойтись безъ всякихъ такихъ мѣръ—это представляется не всегда легкой задачей и помочь здѣсь можетъ только практическій опытъ конструктора. Какъ на примѣръ можно указать на то, что путемъ многихъ лѣтъ горькаго опыта конструкторы пришли къ тому, что въ настоящее время на трубопроводахъ, имѣющихся на паровозѣ, линзы господствуютъ почти повсемѣстно, тогда какъ нѣсколько десятковъ лѣтъ тому назадъ примѣненіе ихъ тамъ было весьма ограничено, послѣдствіемъ чего являлись постоянныя течи и поломки. Другимъ примѣромъ можетъ служить устройство пароходныхъ паропроводовъ, о чемъ подробно будетъ говорено далѣе, въ спеціальной главѣ о паропроводахъ.

6. Вліяніе измѣненій температуры стѣнки трубы.

§ 10. Если вслѣдствіе какихъ бы то ни было причинъ измѣняется температура стѣнки трубы, на всей ея длинѣ или лишь на нѣкоторой части этой длины, то это сопровождается расширеніемъ (или укороченіемъ) матеріала стѣнки или, пожалуй, можно сказать, самой трубы, по всѣмъ тремъ направленіямъ осей координатъ (какъ принято условно говорить съ точки зрѣнія Аналитической Геометріи). Расширенія трубы по всѣмъ радіусамъ не представляютъ ничего интереснаго и всегда могутъ происходить безпрепятственно, такъ какъ представляющіяся такому расширенію препятствія по большей части или вовсе отсутствуютъ или настолько незначительны по сравненію съ огромными силами, развивающимися при расширеніи тѣлъ отъ теплоты, что легко будутъ преодолѣны безъ развитія въ матеріалѣ трубы сколько нибудь замѣтныхъ напряженій; а самое главное—это то, что, въ виду незначительности діаметровъ трубъ и сама абсолютная величина линейнаго расширенія ихъ по радіальному направленію — не велика. Совсѣмъ иное представляется, если заняться разсмотрѣніемъ расширенія по направленію *оси* трубы (если ось эта все время прямая, что̀ пока и будемъ предполагать). Такъ какъ длина трубъ по этому направленію бываетъ иногда очень значительна, доходя до десятковъ и сотенъ верстъ, то понятно, что и полная величина удлиненія трубопровода по этому направленію можетъ быть довольно значительна и потому необходимо съ нею считаться. Какъ извѣстно изъ физики, твердыя тѣла способны развивать при своемъ расширеніи тъ теплоты или сокращеніи такія огромныя силы, что намъ трудно даже придумать

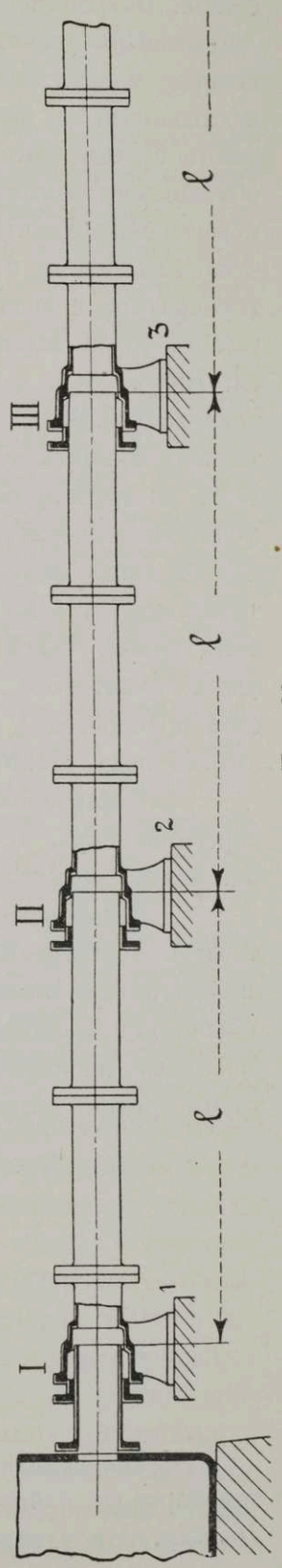
какія либо устройства, которыя могли бы остановить такое удлиненіе или укороченіе тѣлъ, температура которыхъ повышается или понижается. Поэтому, если длинный трубопроводъ будетъ по концамъ упертъ въ какіе нибудь резервуары, а по всей длинѣ свободенъ, то при нагрѣваніи его онъ будетъ стремиться сдвинуть резервуары съ мѣста, или прогнуть ихъ стѣнки, и если сопротивленія такому освобожденію его окажутся велики, то въ немъ разовьется значительная продольная сила и подъ дѣйствіемъ ея самъ трубопроводъ, какъ длинная колонна, непремѣнно выгнется въ сторону, т. е. подвергнется продольному изгибу. При этомъ нарушится прежде всего герметичность всѣхъ соединеній, а затѣмъ произойдетъ изломъ или ихъ, или стѣнокъ трубы.

Если трубопроводъ длиненъ, и закрѣпленъ неподвижно во многихъ мѣстахъ своей длины, то онъ явится въ условіяхъ подобныхъ только что разобраннымъ, только прогибы будутъ происходить между каждыми двумя сосѣдними мѣстами закрѣпленія.

Для того, чтобы избавить трубопроводъ отъ такого разрушительнаго дѣйствія силъ, которыя разовьются въ немъ **въ томъ случаѣ только, если мы задержимъ свободное его расширеніе,** необходимо сдѣлать именно такъ, чтобы весь трубопроводъ удлинялся бы и укорачивался такъ же свободно, какъ будто бы онъ свободно плавалъ въ пространствѣ. Тогда, при такомъ *свободномъ* расширеніи, въ стѣнкахъ трубъ никакихъ напряженій по направленію оси трубопровода не разовьется.

Такое устройство трубопровода осуществляется при помощи такъ-называемыхъ *расширителей* или *компенсаторовъ*, о которыхъ подробно говорится далѣе.

Цѣль устройства такого расширителя состоитъ, слѣдовательно, въ томъ, ***чтобы дать возможность трубопроводу свободно расширяться по всей своей длинѣ***, *какъ бы ни были укрѣплены концы трубопровода и какъ онъ ни былъ закрѣпленъ въ разныхъ мѣстахъ своей длины.* Если трубопроводъ длинный, то въ него приходится вставлять нѣсколько расширителей и общая схема такого устройства представляется въ такомъ видѣ, какъ показано на чер. 33, именно:



Чер. 33

Вся длина трубопровода дѣлится на отдѣльныя секціи или части, такой длины l, что удлиненіе отъ расширенія каждой отдѣльной части можетъ съ удобствомъ быть воспринято однимъ расширителемъ. Обыкновенно въ практикѣ длина такой отдѣльной части бываетъ въ среднемъ около 30—40 метровъ. Одинъ изъ концовъ каждой такой секціи умышленно *закрѣпляется* (для опредѣленности дѣйствія расширителя) при помощи фундаментныхъ болтовъ и т. п., такъ что здѣсь находится неподвижная половина какого нибудь по счету, скажемъ n-го расширителя, а на другомъ концѣ находится подвижная часть слѣдующаго расширителя, и здѣсь этотъ конецъ секціи можетъ свободно перемѣщаться на длину, по крайней мѣрѣ равную ея наибольшему расширенію между крайними возможными предѣлами измѣненія температуры. Вся секція тоже должна быть оставлена свободной, такъ какъ расширяется каждый элементъ длины ея, и лишь на концѣ ея получается уже наибольшее перемѣщеніе, равное суммѣ удлиненій всѣхъ ея отдѣльныхъ элементовъ длины. На чер. 33 неподвижно закрѣпленныя мѣста трубопровода обозначены черезъ 1, 2, 3, а расширители—черезъ I, II, III; расширители условно показаны здѣсь въ видѣ раструба или сальника, хотя они могутъ быть произвольной конструкціи.

Слѣдуетъ здѣсь же замѣтить, что если каждую секцію, какъ это обыкновенно и бываетъ въ горизонтальныхъ трубопроводахъ, приходится поддержать еще и между расширителями, то это должно быть сдѣлано при помощи удобоподвижныхъ подвѣсовъ, хомутовъ и т. п., такъ чтобы трубопроводъ могъ бы свободно расширяться между расширителями, такъ какъ удлиняется, повторяемъ, каждый элементъ каждой секціи. Подробнѣе о такихъ поддержкахъ для паропроводовъ говорится далѣе.

При данномъ ходѣ расширителя (ходомъ называется наибольшее перемѣщеніе, которое могутъ имѣть другъ относительно друга двѣ половины расширителя, а слѣд. и связанныя съ ними двѣ сосѣднія части трубопровода) число расширителей на данной длинѣ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше предѣлы колебаній температуры, которыми обусловлены измѣненія длины. Слѣдуетъ пояснить, что измѣненіе температуры стѣнки можетъ происходить отъ двухъ причинъ. Именно, если труба всегда наполнена жидкостію или газомъ и пр., которые непрерывно текутъ внутри ея, то въ этомъ случаѣ температура стѣнокъ трубы обусловлена почти исключительно температурой заключенной въ трубѣ жидкости и во всякій данный моментъ можетъ быть принимаема равной ей. Напр., если въ водопроводѣ, никогда не замерзающемъ и лежащемъ подъ землею, температура воды зимою не бываетъ ниже 3° Цельзія, а лѣтомъ не свыше 15° Цельзія, то надо принять въ расчетъ лишь удлиненіе его при измѣненіи температуры на 12°. Если же трубопроводъ по временамъ бываетъ *пустымъ*, то тогда наибольшая или наименьшая температура его, а то и обѣ, могутъ имѣть мѣсто тогда, когда онъ *пустъ*, будучи тогда обусловлены температурой окружающей среды, такъ какъ текущая въ трубѣ жидкость въ это время отсутствуетъ и не охлаждаетъ (или не нагрѣваетъ) стѣнокъ трубы. Такой примѣръ мы имѣемъ въ водопроводѣ, лежащемъ на поверхности земли, о которомъ говорится на табл. 81 Атласа, фиг. 18—19. Въ этомъ примѣрѣ пустой водопроводъ, лежащій на поверхности жаркой Австралійской пустыни, нагрѣвается лѣтомъ подъ солнцемъ до 76° Цельзія.

У паропроводовъ наибольшая температура обусловлена давленіемъ и степенью перегрѣва пара, а наименьшая—наименьшей возможной температурой помѣщенія (которое зимою можетъ оставаться и не топленымъ).

Вышеприведенное разстояніе между расширителями, отъ 30 до 40 метровъ, относится, собственно, къ паропроводамъ высокаго давленія, причемъ у расширителя предположенъ обычный въ такихъ случаяхъ ходъ около 100 mm; но въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ колебанія температуры меньше, возможно, конечно, обойтись и съ пропорціонально меньшимъ числомъ расширителей. Для наиболѣе употребительныхъ матеріаловъ трубъ среднія величины коэффиціентовъ линейнаго расширенія таковы:

Коэффиціентъ линейнаго расширенія, для измѣненія температуры на 100 градусовъ *Цельзія:*

чугунъ	0,00111
желѣзо	0,00118
сталь	0,00125
мѣдь красная	0,00172
латунь	0,00188

Для практическаго пользованія удобнѣе имѣть эти же числа въ видѣ удлиненія трубопровода *длиною въ 100 метровъ*, при повышеніи температуры на *100 градусовъ Цельзія*. Эти удлиненія (полныя) таковы:

При измѣненіи температуры на 100° Цельзія 100 метровъ длины трубопровода удлиняются на λ *миллиметровъ:*

чугунъ	$\lambda = 111$ mm
желѣзо	$\lambda = 118$ mm
сталь	$\lambda = 125$ mm

мѣдь красная . . . . . $\lambda = 172$ mm
латунь . . . . . $\lambda = 188$ mm.

Примѣръ.—Паропроводъ изъ красной мѣди, для насыщеннаго пара, съ давленіемъ въ 15 atm abs. Длина трубопровода—80 метровъ. Температура пара—197° Ц. Наинизшую температуру примемъ въ 0° Ц. Тогда полное удлиненіе трубопровода въ метрахъ будетъ равно $\left(172 \cdot \frac{80}{100} \cdot \frac{197}{100}\right)$ т. е. $\sim$ 272mm и слѣд. надо поставить 3 расширителя съ ходомъ въ 100mm каждый.

Въ результатѣ, слѣдовательно, мы должны замѣтить себѣ, что *никакимъ напряженіямъ отъ измѣненія температуры хорошо устроенный трубопроводъ не подвергается* (или подвергается въ самой незначительной степени, воспринимая лишь силу тренія въ сальникѣ скользящаго расширителя или силу, нужную для разгибанія лировиднаго и подобн. расширителя) и въ опредѣленіе толщины стѣнокъ его **вліяніе температуры не входитъ**, ибо оно всегда должно быть устранено при помощи расширителей.

Слѣдуетъ замѣтить еще, что расширители въ наиболѣе серьезныхъ случаяхъ устраиваются въ видѣ совершенно отдѣльныхъ аппаратовъ, вставляемыхъ въ трубопроводъ, и такіе аппараты описаны далѣе въ особой главѣ; иногда же, тамъ, гдѣ ожидаются не такія сильныя колебанія температуры, или гдѣ длина трубопровода не велика, для удлиненія трубъ можетъ быть дана свобода и безъ помощи спеціальныхъ аппаратовъ. Такъ, напр. въ водопроводахъ и газопроводахъ, лежащихъ подъ землею и подверженныхъ сравнительно небольшимъ колебаніямъ температуры (которыя тѣмъ меньше, чѣмъ глубже заложенъ трубопроводъ въ землю), достаточную для свободнаго расширенія свободу даютъ просто сами соединенія при помощи раструбовъ. При короткихъ паропроводахъ иногда оказывается достаточнымъ однихъ колѣнъ, неизбѣжныхъ при проводкѣ пара изъ котловъ въ машину, для того, чтобы сдѣлать безвреднымъ вліяніе температуры, такъ что изгибъ колѣнъ замѣняетъ дѣйствіе спеціальныхъ расширителей. Впрочемъ, при пользованіи такими колѣнами вмѣсто расширителей необходимо соблюдать извѣстную осторожность и наблюдать за тѣмъ, чтобы колѣна дѣйствительно были сдѣланы *столь гибкими*, насколько это необходимо для сведенія напряженій отъ расширенія къ незначительной величинѣ, неопасной для прочности трубопровода. Печальные опыты, стоившіе массу человѣческихъ жизней и денегъ, сдѣланные надъ такими недостаточно гибкими колѣнами на пароходахъ (о чемъ подробно говорится далѣе, въ главѣ о паропроводахъ), привели, наконецъ, къ тому, что въ настоящее время на этотъ вопросъ обращено инженерами должное вниманіе и въ новѣйшихъ паропроводахъ на судахъ мы встрѣчаемъ уже самое внимательное и серьезное отношеніе къ этому вопросу, основанное на детальномъ изученіи сущности дѣла. Одинъ изъ такихъ новѣйшихъ образцовыхъ судовыхъ паропроводовъ описанъ далѣе, въ главѣ о паропроводахъ. Обыкновенно при устройствѣ судовыхъ паропроводовъ приходится въ сильнѣйшей степени наблюдать дѣйствіе обоихъ послѣднихъ разобранныхъ вліяній, именно, перемѣщеній стѣнокъ, съ которыми связанъ паропроводъ и расширенія самого трубопровода. Нерѣдко трубопроводъ скрѣпляется со стѣнками судна и тогда деформаціи корпуса судна, въ особенности вызванныя сильною качкою въ бурную погоду, оказываютъ на паропроводъ столь сильное вліяніе, что часто результатомъ этого являлась поломка недостаточно гибкаго и податливаго паропровода. Къ этому присоединяется еще вліяніе расширенія стѣнокъ котловъ и золотниковыхъ коробокъ, съ которыми скрѣпленъ паропроводъ. Поэтому, вопросъ объ *раціональномъ устройствѣ пароходнаго паропровода* пріобрѣтаетъ огромную важность и представляется весьма серьезной конструктивной задачей, для правильнаго разрѣшенія которой необходимо прежде всего совершенно ясно представить себѣ характеръ дѣйствія на трубопроводъ различныхъ силъ и вліяній, и характеръ напряженій и деформацій, вызываемыхъ этими вліяніями.

7). Вліяніе ударовъ жидкости въ трубѣ.

§ 11. При выводѣ формулъ Ламѐ и Маріотта съ одной стороны, и Баха и Бредта съ другой стороны, предполагается, что давленіе жидкости (или пара, газа и пр.) въ трубѣ есть гидростатическое, или, другими словами, предполагается, что жидкость въ трубѣ находится какъ бы въ состояніи покоя, или, въ крайнемъ случаѣ, равномѣрнаго движенія. Вообще говоря, при нормальныхъ условіяхъ работы трубопровода, когда движеніе жидкости внутри его станетъ установившимся, т. е. такимъ, при которомъ траэкторіи и скорости частицъ не зависятъ отъ времени, а обусловлены лишь устройствомъ самого трубопровода и начальными данными пусканія его въ ходъ, такое допущеніе распредѣленія давленій по закону Гидростатики (въ особенности если скорость теченія незначительна) не вноситъ особенно замѣтной ошибки и можетъ быть допущено для цѣлей практики. Но, къ сожалѣнію, такое состояніе жидкости не есть единственное возможное для трубопровода и въ особенные, такъ сказать, моменты его жизни, естественные, или случайные, происходятъ въ жидкости такія явленія, во время которыхъ давленія въ различныхъ мѣстахъ жидкой массы никоимъ образомъ не слѣдуютъ законамъ Гидростатики, а являются обусловленными элементами сложнаго движенія, которое имѣетъ въ это время жидкость, и поэтому величины этихъ давленій, хотя и на короткое время, но все таки могутъ иногда весьма значительно отличаться отъ тѣхъ, которыя соотвѣтствуютъ гидростатическому распредѣленію давленій, какъ въ сторону увеличенія, такъ и въ сторону уменьшенія. Такими особыми моментами въ жизни трубопровода являются, напримѣръ, слѣдующія обстоятельства:

1). Моменты *пусканія* машинъ, къ которымъ ведетъ трубопроводъ, въ ходъ, или же, вообще, моменты пусканія трубопровода въ работу, когда открываются органы (задвижки, заслонки, вентили и пр.), которые сообщаютъ его съ тѣмъ резервуаромъ, изъ котораго берется текущая потомъ по трубамъ жидкость. Вообще говоря, въ подобные моменты имѣетъ мѣсто скорѣе уменьшеніе давленія жидкости и они рѣдко являются опасными для прочности трубопровода.

2). Моменты *остановки* теченія жидкости, когда органы, пускавшіе жидкость въ трубопроводъ, запираются, и иногда весьма быстро; тогда вся жидкая масса, наполняющая трубопроводъ, отъ резервуара до мѣста пресѣченія теченія, внезапно, или весьма быстро, останавливается и вслѣдствіе этого могутъ развиваться и нерѣдко развиваются въ жидкой массѣ а затѣмъ и стѣнкахъ трубопроводовъ такія силы, или лучше сказать, давленія и напряженія, что иногда трубопроводъ бываетъ не въ состояніи выдерживать этихъ силъ и ломается.

3). Иногда условія, подобныя описаннымъ подъ цифрою 1) и въ особенности 2), наступаютъ не нормальнымъ, такъ сказать, путемъ, вслѣдствіе неизбѣжнаго и предвидѣннаго закрытія или открытія заслонокъ и пр., а наступаютъ неожиданно, вслѣдствіе какихъ-нибудь ненормальностей въ работѣ трубопровода, каковой въ особенности часто является скопленіе въ паропроводахъ конденсаціонной воды, задерживающей на время движеніе массы пара, а затѣмъ уступающей, наконецъ, его давленію и несущейся впередъ съ огромною скоростію. Явленіе это извѣстно инженерамъ подъ названіемъ *„водяного удара“* * и было причиною поломокъ не одной тысячи паропроводовъ.

По сути дѣла, какъ уже объяснено сейчасъ, всѣ указанныя явленія одинаковы. Для насъ важно измѣненіе давленія, и если это измѣненіе идетъ въ сторону *увеличенія* давленія сверхъ гидростатическаго, то такое увеличеніе мы должны признать

---

* по Англійски и Нѣмецки—*„водяного молотка“*.

опаснымъ для прочности нашего трубопровода. Къ сожалѣнію, точное, научное изслѣдованіе подобныхъ явленій до самаго послѣдняго времени почти отсутствовало, и лишь высокоталантливому профессору Императорскаго Техническаго Училища *Николаю Егоровичу Жуковскому* принадлежитъ честь—впервые внести въ эту трудную задачу Технической Механики ясность и точность научнаго изслѣдованія. Николай Егоровичъ впервые далъ рѣшеніе интересующаго насъ вопроса для того случая, который наиболѣе часто встрѣчался въ практикѣ водопроводнаго дѣла и проявлялъ себя многочисленными поломками и разрывами трубъ и другихъ деталей, именно, когда производится быстрое закрытіе задвижекъ и жидкая колонна принуждена бываетъ быстро остановиться. Въ высшей степени интересныя и важныя изслѣдованія, какъ экспериментальныя, такъ и теоретическія, были произведены по этому вопросу въ 1897—1898 году на Московскомъ Водопроводѣ по иниціативѣ Ученаго Инженеръ-Механика Николая Петровича Зимина, завѣдывавшаго тогда Московскимъ Водопроводомъ. Эксперименты производили инженеры Московскаго Водопровода, а теоретическое подтвержденіе и разъясненіе полученныхъ результатовъ было дано Николаемъ Егоровичемъ Жуковскимъ. Результаты этой замѣчательной научно-технической работы были опубликованы въ „Бюллетеняхъ Политехническаго Общества“ и въ „Запискахъ Императорской Академіи Наукъ“. Отсылая интересующихся къ этимъ источникамъ, мы здѣсь изложимъ лишь важнѣйшіе результаты, полученные при этихъ замѣчательныхъ изслѣдованіяхъ.

Результаты эти резюмированы самимъ авторомъ въ слѣдующемъ видѣ:

1). Гидравлическій ударъ, вызывавшійся при опытахъ быстрымъ (отъ $^1/_{33}$ до $^1/_{50}$ секунды) закрытіемъ заслонки, распространяется вдоль водопроводной трубы съ постоянною скоростью, величина которой не зависитъ замѣтно отъ силы удара. Эта скорость распространенія волны зависитъ отъ вещества трубы и отъ отношенія толщины ея стѣнокъ къ діаметру трубы. Для трубъ среднихъ діаметровъ (отъ 2 до 6 дюймовъ) эта скорость составляетъ около 600 саженъ въ секунду, а для трубъ большихъ діаметровъ (24 дюйма)—около 470 сажень въ секунду. Скорость ударной волны остается одна и та же, все равно, получается ли ударъ вслѣдствіе остановки теченія воды въ трубѣ, или же вслѣдствіе весьма быстраго поднятія давленія при началѣ трубы.

2). Гидравлическій ударъ распространяется по водопроводной трубѣ съ одинаковою силою. Величина его пропорціональна потерянной при ударѣ скорости теченія воды и скорости распространенія ударной волны въ трубѣ. Для обыкновенныхъ чугунныхъ водопроводныхъ трубъ средняго діаметра (отъ 2 до 6 дюймовъ) *на каждый футъ потерянной скорости получается сила удара, т. е. повышеніе давленія въ трубѣ, около 4 атмосферъ, а для трубы въ 24 дюйма діаметромъ—сила удара около 3 атмосферъ на каждый футъ потерянной скорости.*

3). Явленія періодическаго колебанія ударнаго напора въ водопроводной трубѣ вполнѣ объясняются отраженіями ударной волны отъ концовъ трубы (отъ задвижки и отъ магистрали).

4). Транзитное теченіе воды (т. е. теченіе сквозь трубу съ постоянною скоростію) не имѣетъ вліянія на ударъ и послѣдній опредѣляется только по потеряннымъ скоростямъ. Въ случаѣ ударной волны, проходящей по трубѣ, изъ которой изливается вода, ударная волна отражается отъ начала струи такъ же, какъ она отражается отъ бака съ постояннымъ давленіемъ.

5). Опасное возрастаніе ударнаго давленія происходитъ при переходѣ ударной волны съ трубъ большого діаметра на трубы малаго діаметра. При этомъ, *достигнувъ концовъ тупиковъ, сила ударнаго давленія удваивается.* Такое удвоеніе можетъ повториться нѣсколько разъ, такъ что давленіе можетъ при неблагопріятныхъ условіяхъ возрасти до большихъ размѣровъ.

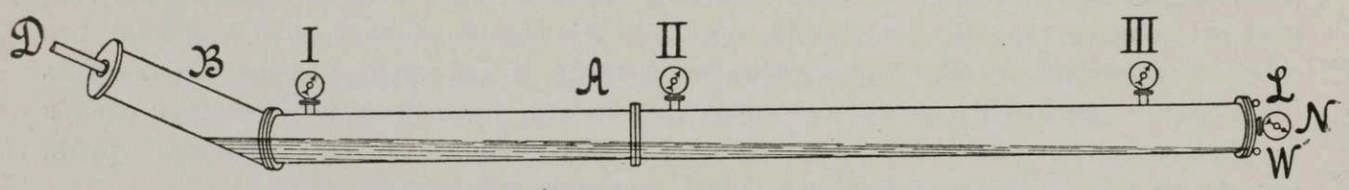
6). Простѣйшимъ способомъ огражденія водопровода отъ гидравлическихъ ударовъ являются приспособленія для медленнаго закрыванія крановъ, задвижекъ и т. п. При этомъ продолжительность закрытія должна быть пропорціональна длинѣ трубопро-

вода. Воздушные колпаки надлежащихъ размѣровъ, поставленные при кранахъ и задвижкахъ, почти совершенно уничтожаютъ гидравлическій ударъ и не пропускаютъ черезъ себя ударную волну, если они поставлены на линіи трубопровода, но сохраненіе воздуха въ колпакахъ весьма затруднительно. Что касается предохранительныхъ клапановъ, поставленныхъ на линіи трубопровода, то они пропускаютъ сквозь черезъ себя ударъ только той силы, которая соотвѣтствуетъ упругости ихъ пружины.

7). По ударной діаграммѣ, снятой съ водопроводной трубы индикаторомъ, можно опредѣлить мѣста скопленія въ трубѣ воздушныхъ массъ (воздушные мѣшки) и величину этихъ массъ. Ударная діаграмма можетъ служить также и для опредѣленія мѣста утечки воды въ трубѣ и, вообще, дать полныя свѣдѣнія о состояніи трубопровода.

Приведенные сейчасъ результаты представляютъ огромную важность для конструктора при рѣшеніи вопроса объ опредѣленіи толщины стѣнки трубы, такъ какъ даютъ ему, по крайней мѣрѣ хоть для водопроводныхъ трубъ, точныя указанія относительно величины того прибавочнаго давленія, которое получается вслѣдствіе ударовъ, обусловленныхъ быстрой остановкой теченія жидкости. До сихъ же поръ на этотъ счетъ дѣлались самыя фантастическія и совершенно произвольныя допущенія, о которыхъ кое что скажемъ далѣе.

Какъ уже было упомянуто, въ паропроводныхъ трубахъ приходится встрѣчаться съ подобнымъ же явленіемъ удара, который обусловливается не только планомѣрнымъ закрытіемъ и открытіемъ вентилей, при ежедневной работѣ, но иногда и случайными загроможденіями внутренности трубы массами конденсаціонной воды, которыя затѣмъ получаютъ возможность удалиться и двигаясь съ громадной скоростію оказываютъ на трубопроводъ дѣйствіе, подобное дѣйствію пушечнаго ядра.



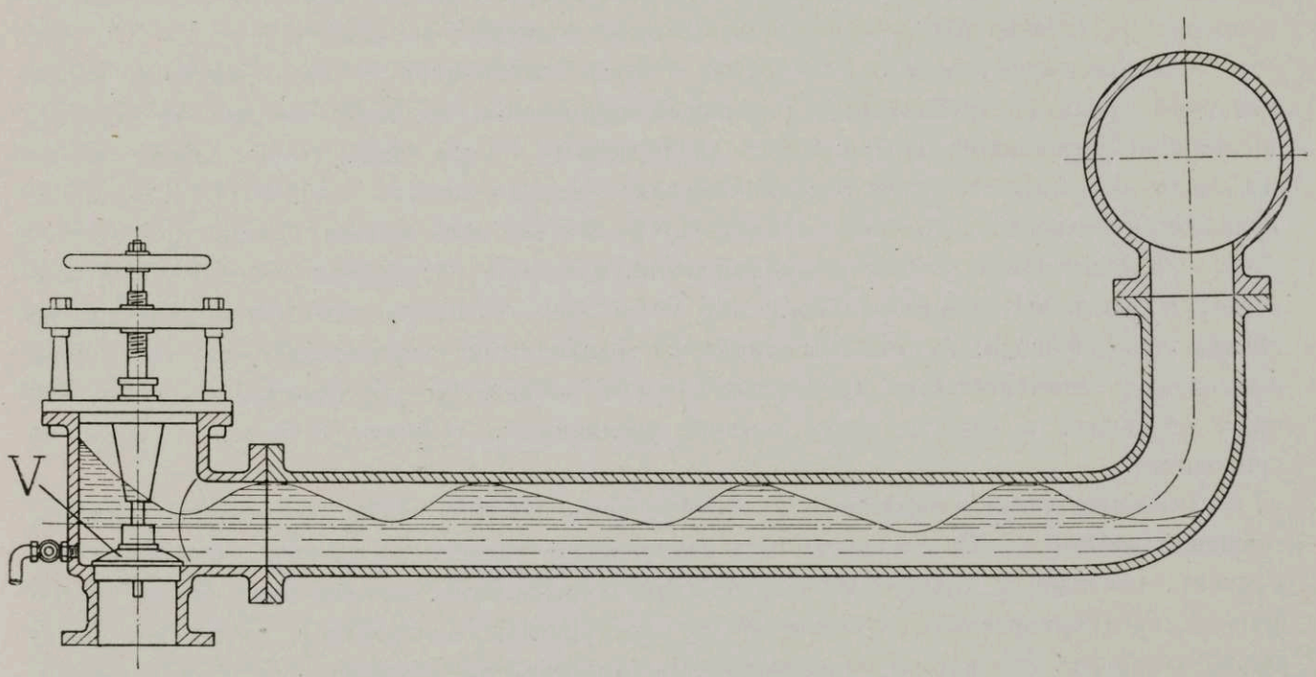
Чер. 34.

Хотя и это явленіе причинило, подобно водопроводнымъ ударамъ, массу поломокъ трубъ съ послѣдствіями много худшими, такъ какъ паръ *упругъ* и *горячъ*, но до послѣдняго времени научныхъ изслѣдованій относительно явленій водяного удара (молотка) мы не имѣли и лишь въ 1902 году появилось изслѣдованіе Стромейера (напечатанное, между прочимъ, въ журналѣ „*Engineering*“ за 1902 годъ, Feb. 28), въ которомъ авторъ принимаетъ во вниманіе и упругость стѣнокъ трубы, подобно Н. Е. Жуковскому, изслѣдованіе котораго, можетъ быть, не осталось неизвѣстнымъ Англійскому автору. Въ математическія подробности этого изслѣдованія (кстати, весьма неполнаго) мы входить здѣсь не будемъ, а разберемъ только сущность самаго явленія водяного молотка.

Конденсаціонная вода скопляется въ паропроводахъ вслѣдствіе того, что металлическія стѣнки этихъ послѣднихъ хорошо проводятъ теплоту и, вслѣдствіе потери части теплоты, соотвѣтствующая часть текущаго внутри паропровода пара конденсируется въ воду, которая и располагается въ самыхъ низкихъ частяхъ линіи паропровода. Наиболѣе часто явленіе водяного удара или молотка происходитъ при слѣдующихъ обстоятельствахъ.

Если паропроводъ, какъ это и бываетъ въ большинствѣ случаевъ, не идетъ въ видѣ прямой, горизонтальной линіи, а имѣетъ переломы, какъ на чер. 34, или подобныя этому *искривленія* (колѣна въ вертикальной плоскости, обращенныя внизъ и образующія настоящіе водяные мѣшки и т. п.), или же если, какъ это бываетъ въ большихъ, пароходныхъ и другихъ паропроводахъ, къ главной, магистральной трубѣ примыкаютъ снизу трубы меньшаго діаметра, идущія отъ отдѣльныхъ котловъ, и ведущія паръ

въ эту главную трубу (чер. 35), то явленіе водяного удара происходитъ весьма легко, въ особенности въ томъ случаѣ, который показанъ на чер. 35, когда часть котловъ, которые всѣ сообщены съ магистральнымъ трубопроводомъ, временно не работаетъ. Если затѣмъ какой нибудь котелъ затопятъ и послѣ подъема въ немъ давленія до нормальной величины быстро откроютъ вентиль V, ведущій изъ этого котла въ трубу, сообщающую его съ магистралью, то весьма часто случается такъ, что въ этой трубѣ, въ нижней ея части, находится конденсаціонная вода, попавшая изъ магистрали. И вотъ когда паръ врывается въ эту сравнительно холодную массу воды, то онъ сначала быстро конденсируется, образуется пустота, въ которую устремляются новыя массы пара и затѣмъ, наконецъ, вода уступаетъ давленію пара и съ страшной силой бросается впередъ, производя нерѣдко самыя разрушительныя дѣйствія. Явленія эти подробно разсмотримъ далѣе, въ главѣ о паропроводахъ, пока же скажемъ лишь, что при опытахъ, произведенныхъ Нѣмецкимъ инженеромъ *Gurlt*, когда въ 12-дюймовую трубу, отчасти наполненную водою, пускали внезапно паръ изъ трубочки *всего лишь въ 3 дюйма діаметромъ* (чер. 34), давленіе въ трубѣ подымалось до величины **въ 30 разъ большей**, нежели давленіе впускаемаго пара (паръ впускался съ давленіемъ въ **5** атмосферъ, а наибольшее повышеніе давленія, которое наблюдалось, доходило до **150** атмосферъ). Понятно, что такому повышенію давленія не можетъ сопротивляться никакой трубопроводъ, какъ бы крѣпко



Чер. 35.

онъ ни былъ построенъ, и поэтому нечего и думать—расчитывать толщину стѣнокъ паропровода и прочность всѣхъ вообще его принадлежностей на подобныя экстренныя силы. Наоборотъ, задача конструктора состоитъ въ томъ, чтобы разумнымъ устройствомъ и расположеніемъ трубопровода устранить всякую возможность появленія водяного удара значительной интенсивности. Подробнѣе объ этомъ будемъ говорить далѣе, въ главѣ о паропроводахъ.

8). Окончательное выраженіе толщины стѣнки.

§ 12. Послѣ того, какъ въ §§ 4—11 мы изложили вліяніе различныхъ причинъ на прочность трубы, приступимъ теперь къ рѣшенію главнаго интересующаго насъ вопроса—„какимъ образомъ опредѣлить наименьшую возможную толщину стѣнки трубы такъ, чтобы труба оставалась прочной при дѣйствіи всѣхъ перечисленныхъ и разобранныхъ выше вліяній, и притомъ при такомъ ихъ дѣйствіи, когда наибольшее возможное

число этихъ вліяній дѣйствуетъ на трубу одновременно въ одномъ и томъ же смыслѣ, вызывая въ стѣнкахъ ея наибольшее возможное напряженіе"?

Для разрѣшенія этого вопроса мы должны теперь прежде всего разсмотрѣть— какія вліянія могутъ дѣйствовать на трубу *одновременно* и притомъ въ одномъ и томъ же смыслѣ, т. е. такъ, чтобы всѣ эти одновременныя вліянія вызывали въ стѣнкахъ трубы одноименное напряженіе—т. е. или напряженіе сжатія или напряженіе растяженія?

Наиболѣе обычный для огромнаго большинства трубъ случай есть тотъ, когда отъ дѣйствія текущей въ трубопроводѣ жидкости трубы подвергаются *растяженію*, такъ что внутреннее давленіе болѣе наружнаго. Для сопротивленія этому внутреннему давленію при данномъ наибольшемъ допускаемомъ напряженіи матеріала на разрывъ z труба должна имѣть толщину стѣнокъ δ, опредѣляемую или по формуламъ *Ламѐ* и *Маріотта*, при отсутствіи продольной силы, или же по формуламъ *Баха* и *Бредта* для случая толстыхъ стѣнокъ и существованія продольной силы. Назовемъ, какъ и ранѣе, такую толщину стѣнки, опредѣленную въ предположеніи, что существуетъ пока только одно внутреннее давленіе, а другія вліянія не дѣйствуютъ, черезъ δ.

Внѣшнее давленіе не можетъ сплющивать трубу въ то время, когда внутреннее давленіе болѣе, чѣмъ это внѣшнее, такъ что одновременно съ разрывомъ трубы внутреннимъ давленіемъ внѣшнее давленіе въ стѣнкахъ трубы ничего опаснаго не вызываетъ, и потому къ вліянію внутренняго давленія присоединиться не можетъ.

Вліяніе собственнаго вѣса трубъ и вѣса заключенной въ нихъ жидкости вызываетъ въ стѣнкахъ трубопровода различныя напряженія, но, какъ мы видѣли раньше, въ хорошо устроенномъ трубопроводѣ располагаютъ опоры такъ, чтобы вліяніе это не вызывало въ стѣнкахъ трубопровода никакихъ сколько нибудь замѣтныхъ напряженій, и поэтому увеличивать толщину стѣнокъ трубъ изъ за этого вліянія тоже не приходится.

Вліяніе осадки стѣнъ и фундаментовъ и вліяніе расширенія отъ измѣненій температуры, какъ мы видѣли раньше, тоже не должны оказывать замѣтнаго дѣйствія на стѣнки трубопровода, будучи парализованы различными приспособленіями, сводящими вызываемыя этими вліяніями въ стѣнкахъ трубъ напряженія практически къ нулю. Такимъ образомъ, и изъ за этихъ вліяній увеличивать толщину стѣнокъ δ тоже не приходится.

Вліяніе ударовъ жидкости въ трубѣ, какъ сказано ранѣе, не можетъ быть совершенно избѣгнуто. Оно можетъ быть значительно уменьшено путемъ устройства задвижекъ, вентилей и кранovъ съ медленнымъ закрываніемъ, путемъ введенія въ трубопроводъ предохранительныхъ клапановъ и воздушныхъ колпаковъ и т. п., но совершенно устранить это вліяніе невозможно, и поэтому мы должны считаться съ тѣмъ фактомъ, что по временамъ въ нашей трубѣ давленіе будетъ становиться *болѣе*, чѣмъ наибольшее гидростатическое давленіе, на которое мы расчитываемъ трубу по формуламъ Ламѐ, Маріотта, Баха и Бредта, и которое входитъ въ нихъ въ видѣ буквы p. Если p_u будетъ наибольшее давленіе, которое можетъ развиться въ трубѣ вслѣдствіе гидравлическихъ ударовъ, то, если допустить и при ударномъ дѣйствіи то же самое напряженіе z, какъ и при дѣйствіи спокойнаго гидростатическаго давленія, толщина стѣнки должна быть теперь опредѣлена по любой изъ названныхъ выше формулъ, въ которыя вмѣсто давленія p введено будетъ давленіе p_u. Назовемъ эту толщину, которая всегда будетъ болѣе δ, черезъ δ_u. Представимъ теперь эту толщину, съ которою и должна быть выполнена наша труба вмѣсто прежней толщины δ, въ видѣ

$$\delta_u = \delta + (\delta_u - \delta).$$

Такимъ образомъ, мы можемъ сказать, что вслѣдствіе ударовъ надо будетъ толщину δ увеличить на нѣкоторую величину $\delta_u - \delta$, которую назовемъ черезъ δ', такъ что мы должны взять толщину стѣнки

$$\delta + \delta'.$$

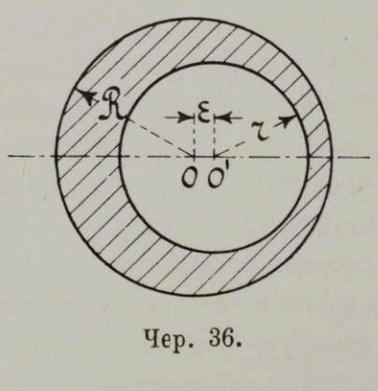
Наконецъ, въ то время, когда труба находится подъ дѣйствіемъ внутренняго давленія, она можетъ подвергнуться еще и нѣкоторымъ такъ называемымъ *случайнымъ* силамъ разнообразнаго характера; такъ напримѣръ, можетъ производиться подчеканка свинцоваго кольца въ раструбномъ соединеніи, можетъ произойти осадка земли, въ которой лежатъ трубы, или, наконецъ, вообще можетъ, вслѣдствіе не совершенно полнаго устраненія тѣхъ вліяній, о которыхъ говорилось ранѣе, оказаться нѣкоторая сила, дѣйствующая на трубопроводъ, какъ напримѣръ, треніе въ сальникѣ скользящаго расширителя и т. п. Для того, чтобы напряженіе не перешло назначеннаго предѣла, необходимо увеличить, поэтому, толщину стѣнки еще на нѣкоторую величину δ'', которая не можетъ быть опредѣлена вычисленіемъ, а должна быть опредѣлена исключительно практически, путемъ опыта и наблюденія. Такимъ образомъ, толщина стѣнки должна теперь выражаться слѣдующимъ образомъ:

$$\delta_s = \delta + \delta' + \delta''.$$

Этими тремя вліяніями и ограничивается, собственно, дѣйствіе на стѣнки трубы разрывающихъ ее силъ и труба, выполненная съ толщиною стѣнки $\delta_s = \delta + \delta' + \delta''$, была бы прочна, *если бы эта толщина оставалась бы всегда такою*. Но, въ дѣйствительности, трубы, несмотря даже на самую тщательную покрышку ихъ предохранительнымъ слоемъ какого-нибудь смолистаго вещества (такъ называемую *асфальтировку*, хотя не всегда покрывающимъ веществомъ служитъ непремѣнно асфальтъ) или краски, все-таки *ржавѣютъ* и со временемъ толщина стѣнки ихъ уменьшается. Поэтому, если выполнить трубу съ толщиною δ_s, то послѣ многихъ лѣтъ работы толщина стѣнки уменьшится до величины $\delta_s - \delta'''$, гдѣ δ''' есть та толщина, которая потерялась вслѣдствіе ржавленія и вообще, разъѣданія стѣнки. Для того же, чтобы въ трубѣ и послѣ многихъ лѣтъ работы сохранилось бы допущенное нами напряженіе z, необходимо новую трубу заранѣе сдѣлать толще на величину δ''', такъ что, съ принятіемъ во вниманіе уменьшенія толщины стѣнки (или, какъ иногда не совсѣмъ правильно говорятъ, изнашиванія стѣнки), необходимая для новой трубы толщина стѣнки будетъ

$$\delta_r = \delta_s + \delta''' = \delta + \delta' + \delta'' + \delta'''.$$

Если бы мы могли выполнить трубу математически точно съ такою толщиною, то все было бы въ порядкѣ. Но на самомъ дѣлѣ, главнымъ образомъ для трубъ, получаемыхъ путемъ *отливки* (чугунныхъ и бронзовыхъ), невозможно поставить стержень, служащій для полученія внутренней пустоты, вполнѣ концентрично съ очертаніемъ наружной поверхности трубы, въ результатѣ чего является такъ называемый *сносъ* стержня, и, если величина этого сноса, т. е. эксцентричность цилиндра стержня относительно цилиндра трубы, будетъ равна ε, то на одной сторонѣ того діаметра, въ плоскости котораго лежитъ этотъ эксцентриситетъ, мы получимъ наибольшую толщину стѣнки $\delta_r + \varepsilon$ а на другой— наименьшую: $\delta_r - \varepsilon$ (чер. 36). Такъ какъ, независимо отъ толщинъ, стѣнокъ, разрывающая сила подѣлится *поровну* между обоими діаметральными сѣченіями цилиндра, то, очевидно, что на меньшей площади, тамъ, гдѣ толщина стѣнки равна $\delta_r - \varepsilon$, получится напряженіе на разрывъ бо̀льшее, чѣмъ на противоположной. Если вычислять толщины стѣнокъ по формулѣ Маріотта, то увеличеніе напряженія будетъ, очевидно, въ отношеніи $\frac{\delta_r + \varepsilon}{\delta_r - \varepsilon}$, а при вычисленіи по формуламъ Ламѐ и Баха или Бредта, оно слѣдуетъ болѣе сложному закону.



Чер. 36.

Если мы желаемъ, чтобы не смотря и на существованіе наибольшаго практически возможнаго сноса δ'''' все таки напряженіе въ стѣнкѣ трубы осталось бы наше прежнее,

то мы должны заранѣе увеличить толщину стѣнки на величину δ''''. Тогда мы получаемъ толщину стѣнки трубы въ тѣ времена, когда труба работаетъ на разрывъ, въ видѣ

$$\Delta = \delta + \delta' + \delta'' + \delta''' + \delta''''. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (37).$$

Теперь мы должны обратить вниманіе на другіе моменты жизни нашей трубы, когда въ ней внутренняго давленія или совсѣмъ нѣтъ, и она подвергается такъ называемымъ *случайнымъ* (а точнѣе было бы сказать—*не поддающимся вычисленіямъ*) вліяніямъ отливки, выемки изъ формы, чистки и обрубки, асфальтировки, перевозки, нагрузки и разгрузки, укладки въ ямы, чеканки свинца, осадки грунта и пр. и пр. или же, въ добавокъ къ этому, еще и вліянію наружнаго сплющивающаго давленія, которое окажетъ наибольшее дѣйствіе, конечно, въ тѣ моменты, когда внутреннее давленіе въ трубѣ достигнетъ наименьшей величины, будемъ предполагать, нуля, считая, что всякая труба можетъ иногда совершенно опорожниться.

Если бы могли опредѣлить вліянія всѣхъ этихъ причинъ вычисленіемъ, то мы получили бы нѣкоторую толщину стѣнки трубы Δ_s, при которой въ трубѣ отъ совмѣстнаго вліянія всѣхъ сказанныхъ причинъ въ наиневыгоднѣйшемъ ихъ сочетаніи въ смыслѣ крѣпости, т. е. при дѣйствіи ихъ всѣхъ въ одномъ и томъ же смыслѣ, наибольшее напряженіе не превзошло бы той же допущенной нами величины r *. Такую толщину должна имѣть наша труба для сопротивленія всѣмъ перечисленнымъ случайнымъ вліяніямъ. Затѣмъ оставалось бы только сравнить величины Δ и Δ_s и удержать окончательно для составленія детальнаго чертежа трубы и выполненія ея бо́льшую изъ этихъ двухъ толщинъ.

Въ дѣйствительности, величина Δ_s не можетъ быть опредѣлена вычисленіемъ, такъ какъ природа всѣхъ перечисленныхъ силъ и вліяній еще весьма мало изслѣдована теоретически. Поэтому, практика поступаетъ такимъ образомъ, что толщина стѣнки Δ_s, достаточная для сопротивленія всѣмъ перечисленнымъ случайнымъ вліяніямъ, опредѣляется **не вычисленіемъ**, а *практически*, путемъ опыта, что, однако, нисколько не измѣняетъ нашихъ разсужденій и не нарушаетъ правильности указаннаго сейчасъ способа.

Слѣдуетъ упомянуть, что способъ этотъ, который и есть единственный раціональный, такъ какъ онъ дѣйствительно даетъ наименьшую возможную толщину стѣнки, впервые указанъ Американскимъ водопроводнымъ инженеромъ *Крафтсомъ* и изложенъ имъ, въ примѣненіи къ водопроводнымъ трубамъ, въ малоизвѣстной брошюрѣ „Supplementary report of the Engineer appointed by the Town of Water-town on the subject of Water Supply“. Инженеръ-Механикъ Н. П. Зиминъ оказалъ большую услугу изложеніемъ изслѣдованій Крафтса на русскомъ языкѣ, издавъ въ 1885 году брошюру подъ заглавіемъ *„Опредѣленіе толщины стѣнокъ чугунныхъ водопроводныхъ трубъ по Крафтсу“*. Къ сожалѣнію, и эта брошюра мало извѣстна, хотя и съ точки зрѣнія вообще построенія деталей методъ Крафтса заслуживаетъ большого вниманія именно потому, что здѣсь вполнѣ ясно и правильно выяснено значеніе такъ называемыхъ практическихъ прибавокъ (весьма остроумно окрещенныхъ русскими студентами именемъ: *„на глазъ плюсъ пять миллиметровъ“*) и указана необходимость *крайне осторожнаго отношенія къ нимъ*, безъ котораго легко прійти если не къ нелѣпымъ результатамъ, то очень легко къ несообразно большимъ толщинамъ деталей и къ черезмѣрной стоимости сооруженія. Къ сожалѣнію, и за границей методъ Крафтса не попалъ до сихъ поръ даже въ такія капитальныя сочиненія, какъ „Детали Машинъ“ Баха и почти вездѣ формула для опредѣленія толщины стѣнокъ встрѣчается въ другомъ видѣ, нежели тотъ, который мы дали сейчасъ и ввиду распространенности такихъ не совсѣмъ правильныхъ формулъ, которыя Крафтсъ подвергъ сильной и справедливой критикѣ, не-

* или вообще, въ трубѣ была бы та же степень надежности, если матеріалъ работаетъ не одинаково на сжатіе и растяженіе.

обходимо сказать и объ нихъ, такъ какъ почти всѣ распространенныя въ практикѣ формулы составлены именно по этому не совсѣмъ правильному образцу.

Именно, при составленіи этихъ обычныхъ формулъ молча предполагаютъ, что толщина наша Δ_s всегда выйдетъ болѣе чѣмъ Δ (хотя на самомъ дѣлѣ, какъ это и показалъ Крафтсъ, весьма часто бываетъ и какъ разъ наоборотъ) и на этомъ основаніи представляютъ тогда эту необходимую толщину δ_n въ видѣ

$$\delta_n = \delta + \delta_d \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (38),$$

истолковывая это искусственно составленное выраженіе такимъ образомъ, что, молъ, къ теоретически необходимой и поддающейся вычисленію величинѣ δ, опредѣляемой по Маріотту, Ламѐ, Баху или Бредту, прибавляется еще на вліяніе случайныхъ силъ добавка δ_d. Но это совершенно не вѣрно, ибо, какъ мы сейчасъ выяснили, далеко не всѣ вліянія, изъ за которыхъ приходится дѣлать добавку, могутъ дѣйствовать и въ то время, когда трубопроводъ находится подъ давленіемъ, что̀ въ особенности относится къ вліянію перевозки и укладки со всѣми обстоятельствами, сопровождающими эти операціи. Результатомъ такого неправильнаго выраженія толщины стѣнки является то, что толщина, вычисленная по формулѣ (38), всегда будетъ достаточной для прочности, но не всегда будетъ *наименьшей* возможной. Для короткихъ трубопроводовъ нѣкоторый излишекъ въ вѣсѣ и стоимости трубопровода не составляетъ большой бѣды, но для длинныхъ трубопроводовъ, какіе напримѣръ, имѣемъ въ водопроводномъ дѣлѣ, излишекъ этотъ можетъ составлять уже значительную сумму и тогда слѣдуетъ пользоваться методомъ Крафтса.

Что касается теперь числового выраженія различныхъ величинъ, входящихъ въ наши формулы, то слѣдуетъ замѣтить, что наибольшія затрудненія представляетъ обыкновенно опредѣленіе величинъ δ'' или δ_d, которыя не поддаются теоретическому вычисленію. Вслѣдствіе неопредѣленности, которая царитъ на этотъ счетъ, формулы, даваемыя различными инженерами, иногда замѣтно разнятся между собою. Подробное разсмотрѣніе такихъ формулъ для случая чугунныхъ водопроводныхъ трубъ, сдѣланное Крафтсомъ, помѣщено далѣе, въ главѣ о чугунныхъ трубахъ. Нѣкоторые примѣры употребляемыхъ въ практикѣ формулъ помѣщены въ соотвѣтствующихъ мѣстахъ книги и Атласа.

ГЛАВА III (Вводная).

О смѣщающихъ силахъ (По проф. Фидлеру).

Уже послѣ того, какъ мною была написана глава II и слѣдующія, мнѣ пришлось познакомиться съ превосходнымъ сочиненіемъ профессора Фидлера: „Calculations in Hydraulic Engineering“, въ которомъ весьма много мѣста удѣляется детальному разсмотрѣнія вопроса объ опредѣленіи смѣщающихъ трубы силъ въ различныхъ случаяхъ. Первоначально я считалъ вполнѣ достаточнымъ того, что говорится объ этомъ вопросѣ у меня, на стр. 32 — 37; но ознакомившись съ книгою профессора Фидлера, и имѣя въ виду, насколько вообще у начинающихъ изучать технику слабо развито умѣніе правильно, толково и съ полнымъ пониманіемъ прилагать даже самыя элементарныя свѣденія изъ механики къ рѣшенію задачъ, взятыхъ изъ дѣйствительности, что̀ мнѣ хорошо извѣстно на основаніи 16-ти лѣтняго преподавательскаго опыта въ Императорскомъ Техническомъ Училищѣ, я счелъ не безполезнымъ войти въ гораздо бо́льшія подробности по этому вопросу, нежели предполагалъ первоначально. Подобныя разсмотрѣнія представляютъ превосходный матеріалъ для упражненій студентовъ по механикѣ и машиностроенію и поэтому являются весьма цѣнными.

Такъ какъ въ изложеніи профессора Фидлера я нашелъ качество, которое вообще весьма рѣдко встрѣчается, именно полную *„педагогичность“* и пониманіе авторомъ тѣхъ затрудненій, которыя представляются начинающимъ, и такъ какъ все изложеніе само по себѣ превосходно, то я не нашелъ нужнымъ передѣлывать его и потому просто перевелъ цѣликомъ все то изъ книги Фидлера, что̀ касается вопроса о смѣщающихъ силахъ. Пришлось сдѣлать лишь весьма немногія редакціонныя измѣненія и поясненія и исправить лишь одну единственную ошибку автора, указанную далѣе въ примѣчаніи. Такимъ образомъ, настоящая, III глава не имѣетъ непосредственной связи съ моимъ изложеніемъ всей моей книги и является какъ бы вводною. Ее можно было бы помѣстить въ концѣ книги, но я счелъ болѣе удобнымъ помѣстить ее здѣсь, ближе къ тому мѣсту книги, гдѣ и у меня говорится о смѣщающихъ силахъ. Слѣдуетъ сказать, что Фидлеръ разсматриваетъ лишь простѣйшія, статически опредѣленныя задачи, не дѣлая даже тѣхъ краткихъ указаній относительно характера дѣйствія силъ, которыя сдѣланы у меня, для случаевъ болѣе сложныхъ. Но именно по своей простотѣ и элементарности рѣшаемые имъ вопросы весьма удобны для первоначальныхъ упражненій учащихся и вмѣстѣ съ тѣмъ могутъ пригодиться и для практики.

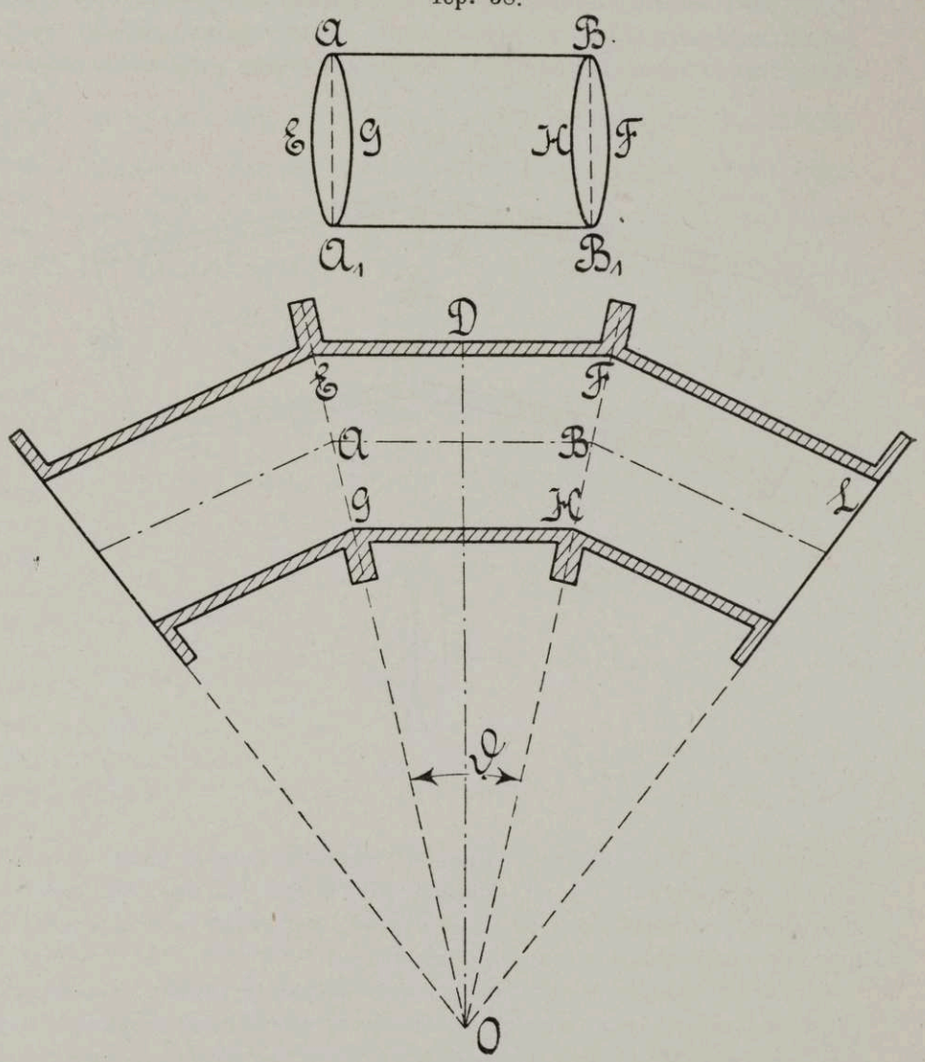
1). Смѣщающія силы въ колѣнахъ.

§ 13. Смѣщающая сила въ колѣнѣ многоугольной формы. Такія колѣна часто встрѣчаются при желѣзныхъ клепаныхъ трубахъ, такъ какъ изготовленіе колѣна изъ нѣсколькихъ барабановъ, представляющихъ изъ себя цилиндры со срѣзанными косо оконечностями, гораздо дешевле, нежели изготовленіе колѣна съ кривою осію. Иногда, впрочемъ, такія колѣна встрѣчаются изготовленными и изъ чугуна. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ короткія чугунныя (или стального литья) трубы, образующія собою стороны многоугольника, часто соединяются съ прямыми трубами при помощи раструбовъ, которыхъ переднія плоскости наклонены другъ къ другу; такія колѣна видны на чер. 41, а детально — въ Атласѣ, на табл. 64, фиг. 13 и табл. 81, фиг. 13 — 16. Желѣзные же барабаны многоугольныхъ колѣнъ соединяются другъ съ другомъ или простою вставкою одинъ въ другой и склепываніемъ, или же при помощи флянцевъ, свернутыхъ или склепанныхъ другъ съ

другомъ. На чер. 37 схематически представленъ разрѣзъ такого колѣна плоскостію, проходящею черезъ оси колѣнъ (которыя мы предполагаемъ лежащими именно въ одной плоскости, не входя въ разсмотрѣніе болѣе сложнаго случая), которую мы будемъ называть для краткости *средней* плоскостію.

Каждая часть этого колѣна, напр. звѣно его AB, представляетъ, какъ уже сказано, отрѣзокъ цилиндра, концы коего срѣзаны наклонными къ оси плоскостями EG и FH; очевидно, что давленіе жидкости на половину EF цилиндра (лежащую по одну сторону плоскости, перпендикулярной къ средней) по направленію перпендикулярному къ оси AB въ средней плоскости, будетъ больше, нежели давленіе на противолежащую стѣнку или половину цилиндра GH, такъ что мы будемъ имѣть смѣщающую силу по направленію OD, которая стремится оттолкнуть трубу отъ центра O наружу.

Чер. 38.



Чер. 37.

Величину этой смѣщающей силы легко найти, разсмотрѣвъ давленія на обѣ половинки цилиндра, раздѣленныя плоскостію проходящею черезъ ось AB перпендикулярно къ средней плоскости.

Для этого, по нашей теоремѣ о давленіи на кривую стѣнку, мы находимъ проэкціи упомянутыхъ половинъ цилиндра на сказанную плоскость раздѣла (ABA_1B_1 на чер. 38) и беремъ разность ихъ; проэкція наружной половинки будетъ $EABFB_1A_1$, а внутренней — $GABHB_1A_1$; разность этихъ двухъ площадей будетъ сумма площадей двухъ эллипсовъ $EAGA_1$ и $HBFB_1$. Если d есть внутренній діаметръ трубы, а ϑ — центральный уголъ EOF, который осью OD дѣлится пополамъ, то большая ось эллипса будетъ d, а малая — $d \cdot tg\frac{\vartheta}{2}$; площадь каждаго эллипса будетъ $\frac{\pi}{4}d^2 \cdot tg\frac{\vartheta}{2}$. Помножая удвоенную величину этой площади на давленіе жидкости p получаемъ смѣщающую силу S по направленію OD въ видѣ $2p\frac{\pi}{4}d^2 tg\frac{\vartheta}{2}$. Называя черезъ P все давленіе на площадь поперечнаго сѣченія трубы, находимъ

$$S = 2P\,tg\frac{\vartheta}{2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (39).$$

Это же выраженіе можно получить и изъ разсмотрѣнія давленія жидкости на плоскости EG и FH, ограничивающія нашъ цилиндръ. Въ самомъ дѣлѣ, разсматривая объемъ жидкости, содержащійся во всемъ нашемъ усѣченномъ цилиндрѣ $EFHG$, какъ *жидкую арку*, или, лучше сказать, *клинъ*, ограниченный на концахъ двумя наклонными плоскостями EG и FH, мы видимъ, что эти ограничивающія плоскія фигуры суть эллипсы, имѣющіе длины осей d и $d \cdot sec\frac{\vartheta}{2}$, такъ что полное давленіе на каждый изъ нихъ $= p\frac{\pi}{4}d^2 sec\frac{\vartheta}{2}$. Эта сила направлена по нормали къ плоскости своего эллипса, и нормали эти пересѣкаются, конечно, на линіи OD. Слагающая каждой

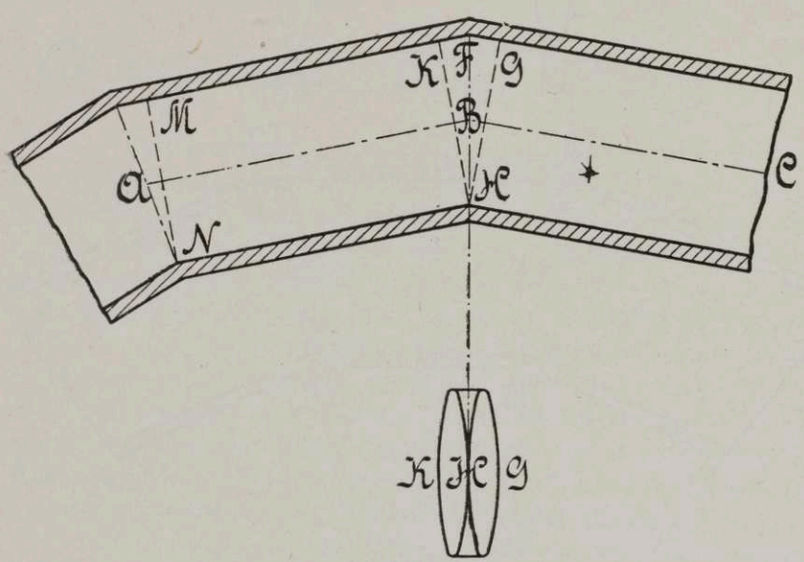
изъ этихъ силъ по направленію OD будетъ $p\,\frac{\pi d^2}{4}\,sec\frac{\vartheta}{2}\cdot sin\frac{\vartheta}{2}$, а сумма обѣихъ слагающихъ будетъ равна

$$S = 2p\frac{\pi d^2}{4}\sec\frac{\vartheta}{2}\cdot\sin\frac{\vartheta}{2} = 2Ptg\frac{\vartheta}{2}.$$

Въ практикѣ смѣщающая сила S должна быть чѣмъ нибудь *непремѣнно уравновѣшена*, иначе она вызоветъ передвиженіе и даже вырываніе трубы.

Одинъ изъ способовъ уравновѣсить эту силу можетъ состоять въ томъ, чтобы къ каждой сторонѣ многоугольника приложить извнѣ силу, равную по величинѣ S и направленную прямо противоположно ей, т. е. отъ D къ O. Если колѣно зарыто въ землю, и средняя плоскость его расположена горизонтально, то такая внѣшняя удерживающая сила можетъ быть доставлена давленіемъ земли, засыпанной позади наружной стѣнки, или же давленіемъ бетона, окружающаго трубу. Если же средняя плоскость колѣна расположена вертикально, то задерживающую силу проще всего осуществить въ видѣ вѣса груза, равнаго S и приложеннаго къ звѣну AB; вѣсъ самого звѣна и воды, въ немъ находящейся, составляютъ часть этого груза. Ясно также, что если мы желаемъ, чтобы наша сторона или труба не подвергалась бы изгибу, то мы должны приложить къ ней удерживающую силу *не гдѣ попало*, а должны распредѣлить ее по длинѣ стороны такъ, чтобы, въ совокупности съ нагрузкой стороны давленіемъ жидкости, получить въ результатѣ во всякомъ поперечномъ сѣченіи трубы сгибающій моментъ равнымъ нулю. Чтобы достигнуть этого, необходимо было бы удерживающую силу приложить лишь по близости концовъ звѣна, распредѣливъ ее на длинахъ EG и HF, на чер. 38, *совершенно по тому же закону, по которому распредѣлена на этой длинѣ* (на малой оси эллипса) *половина смѣщающей силы* S, или неуравновѣшенное давленіе жидкости.

Чер. 39.



Чер. 40.

Въ практикѣ сдѣлать это невозможно и потому сторона или звѣно AB будетъ подвержено сгибающему моменту, о чемъ надо помнить при выборѣ толщины стѣнки его.

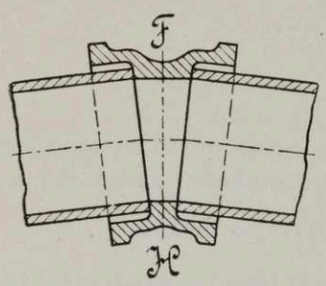
Другой способъ уравновѣсить силу S можетъ состоять въ томъ, чтобы приложить извнѣ достаточно большую силу не къ сторонѣ, а къ *углу* многоугольника. Такъ, если AB и BC (чер. 39) суть оси двухъ смежныхъ звѣньевъ, пересѣкающіяся въ вершинѣ B угла, то смѣщающую силу, дѣйствующую по направленію HF, можно уравновѣсить, приложивъ къ вершинѣ угла, по тому же направленію, силу, равную ей и направленную прямо противоположно т. е. отъ F къ H. Проведемъ сѣченія MN и HK, перпендикулярныя къ оси AB и $HG \perp$ къ BC. Очевидно, что $\angle KHG$ равенъ углу $180^0 - \angle ABC$ т. е. углу между гранями AN и BH. Давленія жидкости на всѣ элементы цилиндра между сѣченіями NM и KH взаимно уравновѣшиваются и смѣщающая сила получится только отъ давленій жидкости на внутреннюю поверхность усѣченнаго двойного цилиндра (клина) $KHGF$, усѣкающія который плоскости касаются другъ друга въ точкѣ H. Для вычисленія смѣщающей силы проэктируемъ внутреннюю поверхность тѣла $KHGF$ (клина) на плоскость, перпендикулярную къ HF (чер. 40). Вычитая опять одна изъ другой площади проэкцій, лежащія по обѣ стороны плоскостей, проходящихъ черезъ AB и BC перпендикулярно къ средней плоскости, найдемъ въ разности два эллипса KH и HG; бо́льшая ось каждаго равна d, а меньшая $= d\cdot sin\frac{\vartheta}{2}$. Смѣщающая сила будетъ, поэтому

$$N = 2\cdot\frac{\pi d^2}{4}\cdot\sin\frac{\vartheta}{2}\cdot p = 2P\sin\frac{\vartheta}{2} \quad \ldots\ldots \quad (40).$$

Тотъ же самый результатъ можно бы и здѣсь получить и инымъ путемъ, разсмотрѣвъ жидкіе столбы AB и BC какъ части жидкой многоугольной арки или свода, подверженные сжимающему дѣйствію давленій жидкости на ихъ основаніи и написавъ условія равновѣсія.

Въ практикѣ случай, когда приходится уравновѣшивать смѣщающую силу путемъ прикладыванія удерживающей силы къ углу, встрѣчается, напр., при образованіи колѣна путемъ засовыванія двухъ трубъ, обрѣзанныхъ перпендикулярно къ оси, въ муфту съ двумя раструбами по типу чер. 41. Очевидно, что здѣсь на самыя трубы *никакая* смѣщающая сила не дѣйствуетъ, а *все* неуравновѣшенное давленіе придется *исключительно* на двойную раструбную часть, по средней линіи которой и будетъ дѣйствовать смѣщающая сила, равная N и независящая отъ длины раструбовъ, а лишь отъ діаметра трубы и отъ угла ϑ между передними плоскостями обоихъ раструбовъ.

Но здѣсь нужно принять во вниманіе новое обстоятельство. Именно, при раструбныхъ соединеніяхъ вода, въ большинствѣ случаевъ, проникаетъ внутрь самаго стыка, такъ что производитъ давленіе и на торецъ трубы (такъ сказать, на толщину стѣнки ея); если наружный діаметръ трубы назовемъ черезъ d_e, то площадь каждой изъ проэкцій эллипсовъ будетъ $\frac{\pi d_e^2}{4} sin \frac{\vartheta}{2}$ и вся эта площадь подвержена давленію жидкости, поэтому смѣщающая сила въ этомъ случаѣ выразится черезъ $2\frac{\pi d_e^2}{4} \cdot sin \frac{\vartheta}{2} \cdot p$, или, если обозначить черезъ P_e полное давленіе на площадь круга съ діам. d_e, смѣщающая сила выразится черезъ



Чер. 41.

$$N_e = 2P_e \cdot \sin \frac{\vartheta}{2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (41).$$

Примѣръ.—Пусть имѣемъ многоугольное колѣно изъ чугунныхъ трубъ; наружн. діам. трубъ $d_e = 980mm$, внутренній $d = 900mm$, уголъ между осями двухъ звѣньевъ $\vartheta = 6^0$. Положимъ, что давленіе въ трубѣ $p = 10atm$. Для этого случая, обычнаго въ водопроводной практикѣ, получаемъ:

$$P = \frac{\pi \cdot 90^2}{4} \cdot 10 = 63617kg$$

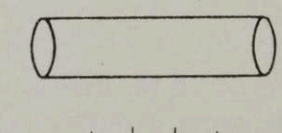
$$P_e = \frac{\pi \cdot 98^2}{4} \cdot 10 = 75430kg$$

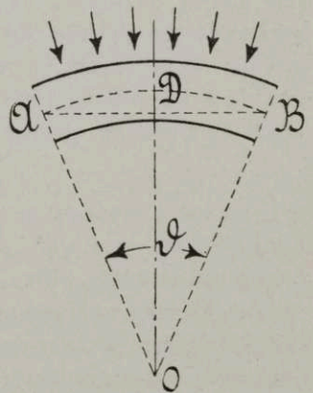
$$tg \frac{\vartheta}{2} = 0{,}05241 ; \quad \sin \frac{\vartheta}{2} = 0{,}05234$$

$$S = 6668kg$$
$$N = 6660kg$$
$$N_e = 7896kg.$$

§ 14. Смѣщающая сила въ колѣнѣ съ круговой осью. Пусть имѣемъ колѣно, ось котораго очерчена по дугѣ круга ADB, стягивающей центральный уголъ ϑ, чер. 42, и радіусъ этой дуги равенъ R. Ясно, что и здѣсь давленія жидкости, дѣйствующія на внутренную поверхность трубы, тоже не уравновѣсятся между собою. Въ самомъ дѣлѣ, если мы проведемъ цилиндрическую поверхность, образующія которой перпендикулярны къ средней плоскости колѣна (въ которой лежитъ дуга ABD), имѣющую основаніемъ дугу AB, то она раздѣлитъ трубу на двѣ части, и видно, что давленія жидкости на внутреннія поверхности этихъ двухъ частей не будутъ уравновѣшиваться между собою; получится въ результатѣ смѣщающая сила, направленная по срединѣ линіи OD отъ центра наружу.

Чер. 43.





Чер. 42.

Будемъ ли мы предполагать, что дуга AB есть вся длина колѣна, или считать, что она есть только выдѣленная мысленно часть колѣна съ произвольнымъ угломъ ϑ, нашъ выводъ останется одинаково вѣренъ. Чтобы найти смѣщающую силу, мы проводимъ плоскость параллельную хордѣ AB и перпендикулярную къ OD и проэктируемъ на нее обѣ половинки нашей поверхности (положительную и отрицательную). Въ результатѣ получаются два эллипса, имѣющіе оси d и $d \cdot sin \frac{\vartheta}{2}$ (чер. 43).

Площадь каждаго изъ этихъ эллипсовъ есть $\frac{\pi}{4} d^2 sin \frac{\vartheta}{2}$ и смѣщающая сила по направленію OD будетъ

$$N = 2p \frac{\pi}{4} d^2 \sin \frac{\vartheta}{2} = 2P \sin \frac{\vartheta}{2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (42).$$

Если мы мысленно раздѣлимъ дугу ADB на весьма большое число очень малыхъ дугъ равной длины, то, повторяя произведенное сейчасъ вычисленіе, мы найдемъ, что на каждую изъ этихъ элементарныхъ дугъ дѣйствуетъ по направленію ея средняго радіуса смѣщающая сила и для

каждаго изъ предположенныхъ одинаковыхъ элементовъ дуги сила эта будетъ одна и та же, такъ что въ дѣйствительности мы должны представлять себѣ силу, смѣщающую дугу AB, *равномѣрно распредѣленною* по всей длинѣ этой дуги, наподобіе равномѣрно распредѣленнаго давленія жидкости, и въ каждой точкѣ направленною по радіусу; не трудно вычислить и величину такой смѣщающей силы (или, лучше сказать, суммарнаго равномѣрно-распредѣленнаго смѣщающаго радіальнаго давленія) на единицѣ длины дуги *.

Для безконечно малаго элемента дуги $d\vartheta$ хорда равна длинѣ дуги, такъ что изъ формулы (42) мы имѣемъ для безконечно-малой дуги безконечно-малую смѣщающую силу

$$dN = 2P \sin\frac{d\vartheta}{2} = 2P \times \frac{d\vartheta}{2},$$

откуда и находимъ суммарное смѣщающее давленіе на единицѣ длины дуги

$$n = \frac{dN}{R \cdot d\vartheta} = \frac{P}{R} \quad \ldots\ldots \quad (43).$$

Изъ этого видно, что для того, чтобы вполнѣ уравновѣсить во всѣхъ точкахъ круговое колѣно, необходимо приложить къ нему извнѣ равномѣрно распредѣленное давленіе, дѣйствующее вездѣ по радіусамъ колѣна къ его центру и имѣющее на единицѣ длины дуги величину $\frac{P}{R}$.

Совершенно тотъ же результатъ мы получимъ, если разсмотримъ жидкость, наполняющую колѣно, какъ *жидкую арку*, подверженную на двухъ своихъ концахъ сжимающимъ силамъ $P = \frac{\pi d^2}{4} p$, дѣйствующимъ на крайнія сѣченія колѣна. Тогда наша формула (43) выводится непосредственно, такъ какъ изъ элементарной теоріи арокъ мы знаемъ, что для того, чтобы, при величинѣ сжимающей силы въ каждомъ поперечномъ сѣченіи $= P$, линія давленія была бы дугою круга, совпадающею съ осью арки, необходимо арку нагрузить нагрузкою, равномѣрно-распредѣленною по длинѣ арки, имѣющею на единицѣ длины дуги величину $n = \frac{P}{R}$, и направленною въ каждой точкѣ по радіусу.

Примѣръ. — Пусть чугунная труба имѣетъ внутренній діаметръ d въ 900mm и колѣно на ней есть дуга круга, стягивающая уголъ въ 45^0, а радіусъ ея есть 6 метровъ; давленіе въ трубѣ $p = 10\text{atm}$.

Полное давленіе на площадь поперечнаго сѣченія этой трубы уже найдено раньше и равно 63617kg; затѣмъ $\sin\frac{\vartheta}{2} = 0{,}38268$. Отсюда находимъ

$$n = \frac{P}{R} = \frac{63617}{6} = 10603\text{kg на 1 метръ длины.}$$

Смѣщающая сила, дѣйствующая на все колѣно по его среднему радіусу будетъ

$$N = 2P \cdot \sin\frac{\vartheta}{2} = 2 \cdot 63617 \cdot 0{,}38268 = 48670\text{kg}.$$

§ 15. Осевыя (продольныя) силы въ жидкой колоннѣ и въ самой трубѣ. Мы только что нашли величины смѣщающихъ силъ, происходящихъ отъ дѣйствія неуравновѣшеннаго давленія жидкости на стѣнки трубы, разсматривая непосредственно давленія на внутреннюю поверхность трубы; было также указано, что тѣ же результаты можно получить и изъ разсмотрѣнія осевыхъ силъ въ жидкой массѣ или колоннѣ, наполняющей трубу. Здѣсь, какъ и во всякой уравновѣшенной аркѣ или многоугольной фермѣ, должно существовать извѣстное соотношеніе между такъ назы-

---

* Считаемъ не лишнимъ пояснить отъ себя, что величина n не есть никоимъ образомъ „равнодѣйствующая“ въ томъ смыслѣ, въ какомъ ее принято понимать въ Механикѣ (т. е. какъ сумму слагающихъ всѣхъ силъ, взятыхъ *по извѣстному направленію*). Такая равнодѣйствующая есть то, что въ Математикѣ принято называть геометрической суммой, т. е. такой суммой векторовъ, гдѣ принимаются во вниманіе и *величины* ихъ и *направленія*. Между тѣмъ, величина n есть только извѣстное математическое выраженіе, и представляетъ она именно изъ себя сумму только ариѳметическую, сумму отдѣльныхъ, элементарныхъ нагрузокъ на элементарныхъ дугахъ, причемъ этихъ элементарныхъ нагрузокъ взято столько, сколько ихъ помѣстилось бы на длинѣ дуги, равной единицѣ, независимо отъ того, что всѣ эти нагрузки не параллельны между собою. Равнодѣйствующая же всѣхъ этихъ элементарныхъ нагрузокъ, взятыхъ на единицѣ длины, вычисленная по направленію средняго радіуса, была бы знакомая уже намъ смѣщающая сила (на длинѣ дуги равной единицѣ) и получилась бы изъ n умноженіемъ этого n на синусъ половины угла ϑ между крайними радіусами дуги, и еще на $2R$.

А. С.

ваемымъ *распоромъ* или сжимающимъ усиліемъ и внѣшними силами, приложенными къ аркѣ или къ узламъ фермы. Такое же соотношеніе должно всегда имѣть мѣсто и въ томъ случаѣ, если осевая сила передается не цѣликомъ черезъ одну только жидкую колонну, а отчасти, или даже полностію, передается и черезъ металлъ трубы, черезъ толщу ея стѣнокъ, отъ одного конца трубы къ другому. Если жидкая колонна подвержена дѣйствію силы P, а сама труба — дѣйствію сжимающей силы Q, распредѣленной по всей кольцевой площади поперечнаго сѣченія металла трубы, то при вычисленіи полной смѣщающей силы надо только въ наши прежнія формулы вмѣсто P внести **полную** продольную силу $P+Q$.

Сдѣлавъ это получимъ слѣдующія формулы:

для *многоугольнаго* колѣна:

$$S = 2(P+Q)\operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (44)$$

$$N = 2(P+Q)\sin\frac{\vartheta}{2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (45),$$

а для *кругового:*

$$N = 2(P+Q)\sin\frac{\vartheta}{2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (46);$$

равномѣрно распредѣленное смѣщающее давленіе на единицѣ длины дуги будетъ

$$n = \frac{P+Q}{R} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (47).$$

Примѣръ. — Положимъ, что круговое колѣно, уже разсмотрѣнное на чер. 42, снабжено на обоихъ концахъ сальниками или расширителями, такъ что концы колѣна могутъ совершенно свободно (треніемъ пренебрегаемъ) скользить въ этихъ сальникахъ (чер. 44). Торцы колѣнчатой трубы предполагаемъ обрѣзанными параллельно радіусамъ OA и OB и части ея отъ точекъ A и B до этихъ торцевъ — прямыми. Сила Q будетъ давленіе жидкости на кольцевую площадь торца трубы. Если d_e и d — наружный и внутренній діаметры трубы, то $Q = \frac{\pi}{4}(d_e^2 - d^2)p$, а $P+Q = \frac{\pi d_e^2}{4}p$.

Возьмемъ опять наши прежнія цифры:

$$d = 900\text{mm}\ ;\quad d_e = 980\text{mm}\ ;\quad R = 6\text{mt}\ ;\quad \vartheta = 45^0;\quad p = 10\text{atm}.$$

Тогда мы уже нашли, что

$$P+Q = 75430\text{kg}\ ,$$

такъ что

$$N = 2\cdot 75430\cdot 0{,}38268 = 57731\text{kg}\ ,$$

а равномѣрно-распредѣленное на единицѣ длины арки давленіе будетъ

$$n = \frac{75430}{6} = 12572\text{kg на 1 метръ длины дуги.}$$

Сила Q, сжимающая самую металлическую трубу, будетъ равна 11813kg.

§ 16. Уравновѣшиваніе смѣщающей силы продольными напряженіями въ стѣнкахъ трубы. Въ выводахъ предыдущаго параграфа мы предполагали, что сила Q есть сила сжимающая, одного характера съ силою P; но не трудно видѣть, что дѣйствительная продольная сила, которою обусловлено равновѣсіе колѣна, есть всегда алгебраическая сумма силъ P и Q, все равно, будетъ ли сила Q положительна (одинакова по направленію съ P) или отрицательна (дѣйствуетъ по направленію обратному силѣ P).

Изъ этого мы заключаемъ, что если трубу подвергнуть дѣйствію силы $-Q$ и выбрать величину этой силы такъ, что по абсолютной величинѣ Q равно P, то сумма $P+Q$ будетъ нулемъ и слѣд., никакой смѣщающей силы на колѣно дѣйствовать не будетъ. Въ этомъ случаѣ колѣно не требуетъ никакихъ боковыхъ упоровъ, загрузокъ и т. п., оно само собою остается въ равновѣсіи, не стремясь смѣщаться ни по какому направленію.

Полезно замѣтить, что если дѣйствительно колѣно будетъ уравновѣшено такимъ способомъ, то потребная для этого величина растягивающей силы Q не зависитъ отъ радіуса колѣна и также не зависитъ и отъ угла ϑ; величина Q всегда будетъ равна P, какова бы ни была кривизна колѣна. Въ этомъ случаѣ матеріалъ стѣнки трубы будетъ подверженъ въ каждой точкѣ дѣйствію двухъ взаимно перпендикулярныхъ напряженій, именно: напряженію на разрывъ по образующей, вычисляемому по формулѣ Маріотта или Ламѐ, и напряженію въ поперечномъ сѣченіи, вызываемому силою Q *. Если стѣнка довольно тонкая, такъ что напряженіе въ продольномъ сѣченіи

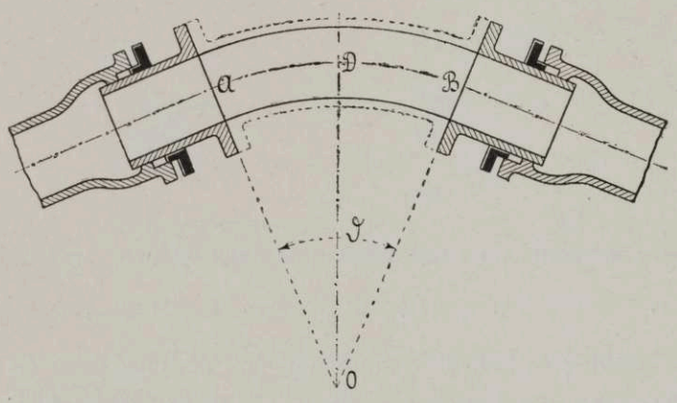
---

* считаемъ полезнымъ предостеречь начинающихъ отъ *соблазнительной мысли* — сложить эти два напряженія по правилу параллелограмма, для того, чтобы такимъ образомъ, узнать „полное“ напряженіе въ какой нибудь точкѣ стѣнки. Это будетъ невѣрно. Для правильнаго опредѣленія „полнаго“ или „наибольшаго“ или „самаго опаснаго“ напряженія необходимо прибѣгнуть къ формуламъ сложнаго напряженія. А. С.

ея можетъ быть вычислено по формулѣ Маріотта, то напряженіе въ поперечномъ сѣченіи выходитъ, какъ извѣстно, равнымъ половинѣ напряженія въ продольномъ сѣченіи. Если стѣнка толстая, то отношеніе двухъ разсматриваемыхъ напряженій будетъ иное.

Уравновѣшиваніе смѣщающей силы сопротивленіемъ самихъ стѣнокъ трубы встрѣчается въ практикѣ довольно часто и имъ объясняются нѣкоторые непонятные на первый взглядъ случаи, когда, повидимому, никакихъ задерживающихъ колѣно силъ нѣтъ, а оно все таки не смѣщается.

Понятно, конечно, само собою, что такое уравновѣшиваніе произойдетъ прежде всего въ томъ случаѣ, когда мы будемъ имѣть колѣно, закрытое на обоихъ концахъ крышки, т. е. з а к р ы т ы й с о с у д ъ. Въ этомъ случаѣ давленія жидкости на крышки вызываютъ въ матеріалѣ стѣнокъ колѣна продольныя или осевыя напряженія, которыя вполнѣ парализуютъ смѣщающую силу. Это доказывается и въ Гидростатикѣ и слѣдуетъ прямо изъ нашей теоремы о давленіи на кривую стѣнку, ибо проэкція замкнутой поверхности (полости) на произвольную плоскость всегда тождественно равна нулю.



Чер. 44.

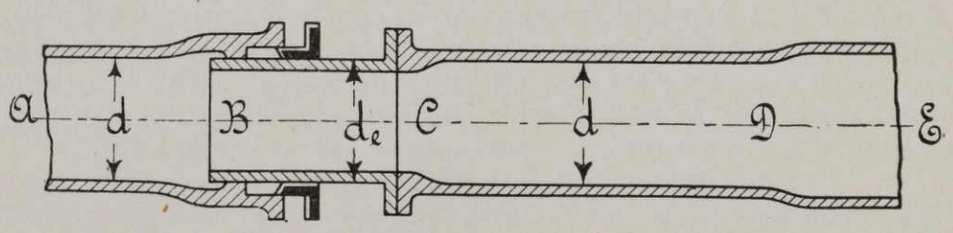
Другой примѣръ, гдѣ смѣщающія силы уравновѣшиваются продольными напряженіями въ трубѣ и гдѣ онѣ не могутъ даже и быть уравновѣшены инымъ путемъ, мы находимъ въ случаѣ *гибкой* трубы. Такая труба, концы которой открыты и находятся въ сообщеніи съ жидкостію, сама собою приметъ извѣстную форму равновѣсія, какъ только жидкость въ ней подвергнемъ нѣкоторому давленію.

Вообще же говоря, могутъ быть и такіе случаи, гдѣ величина продольной силы Q обусловливается внѣшними причинами, независимо отъ давленія жидкости или гдѣ величина ея ограничивается слабымъ сопротивленіемъ соединеній трубъ разрыву или присутствіемъ расширителей и пр.; иногда же бываетъ трудно съ достовѣрностью опредѣлить самую величину силы Q .

§ 17. Расширители. Если мы введемъ въ линію трубъ въ какомъ нибудь мѣстѣ ея длины р а с ш и р и т е л ь, дающій двумъ частямъ трубопровода возможность безъ всякаго сопротивленія имѣть одна относительно другой перемѣщенія вдоль ихъ общей продольной оси, то, очевидно, н е в о з м о ж н о передавать черезъ это мѣсто отъ одной части трубопровода къ другой какія бы то ни было осевыя силы или продольныя силы. **Въ такомъ случаѣ смѣщающія силы непремѣнно должны быть уравновѣшаны силами извнѣ.** Положимъ, что расширитель нашъ будетъ простой сальникъ (чер. 44 или 47).

Въ этомъ случаѣ продольная сила по трубопроводу будетъ, какъ показано раньше, дѣйствовать въ одинаковомъ смыслѣ съ силою Q , такъ что вся смѣщающая сила будетъ обусловлена давленіемъ жидкости на площадь внутренняго діаметра трубы P и давленіемъ жидкости на кольцевое сѣченіе самого матеріала трубы Q. Обѣ силы P и Q сложатся вмѣстѣ, дѣйствуя въ одну и ту же сторону, и дадутъ въ результатѣ смѣщающую силу, соотвѣтствующую ихъ суммѣ, т. е. полному давленію жидкости на площадь наружнаго діаметра трубы въ разсматриваемомъ мѣстѣ.

Слѣдуетъ замѣтить здѣсь, что хотя для скользящей въ сальникѣ части трубы сила Q всегда есть величина положительная (т. е. сжимаетъ трубу), разъ она дѣйствуетъ на обнаженную площадь торца трубы, скользящаго въ сальникѣ, тѣмъ не менѣе представляется возможнымъ построить такой скользящій расширитель, что сжимающему дѣйствію отъ силы Q будетъ подвергаться лишь незначительная часть длины скользящаго внутри конца трубы, а вся остальная длина трубы будетъ или совершенно не нагружена осевыми силами (ни сжимающими, ни растягивающими) или же будетъ нагружена, но на растяженіе, а не на сжатіе. Примѣръ такого устройства показанъ на чер. 45. Здѣсь наружный діаметръ скользящей части d_e сдѣланъ какъ разъ равнымъ внутреннему діаметру d трубъ AB и CD. Если мы сдѣлаемъ на продолженіи трубы BCD, за точкой D, внутренній діаметръ части DE нѣсколько больше чѣмъ d или d_e, то часть правой трубы, начиная отъ D вправо, будетъ находиться въ состояніи р а с т я ж е н і я.



Чер. 45.

Резюмируя все сказанное въ этомъ параграфѣ, мы видимъ, что скользящій расширитель самымъ точнымъ образомъ опредѣляетъ своимъ присутствіемъ величину наибольшей осевой силы, которая можетъ быть передана находящимися въ непосредственномъ его сосѣдствѣ частями трубопровода. Если мы разсмотримъ трубу $BCDE$ вмѣстѣ съ жидкостію, содержащеюся въ ней, какъ одно цѣлое тѣло, котораго свободный конецъ при B подверженъ давленію жидкости, то мы видимъ, что давленіе жидкости на площадь кольцевого торца трубы будетъ передаваться черезъ трубы CD и DE и опредѣлитъ величины окончательной продольной силы $P+Q$.

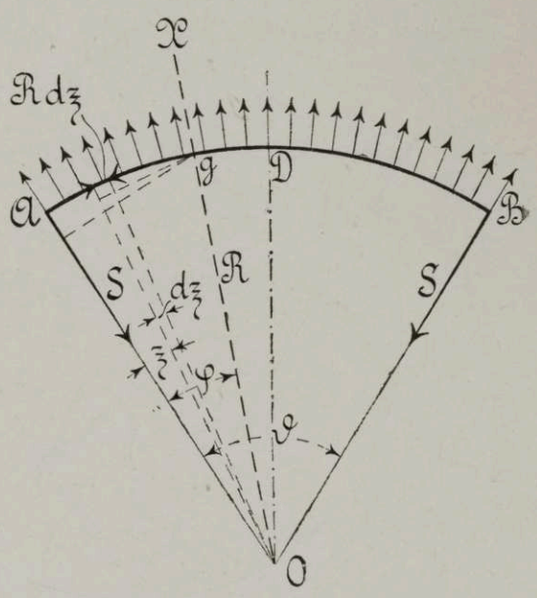
Если d_e есть діаметръ скользящей части или діаметръ расточки въ грундъ-буксѣ, то сила давленія извнѣ на конецъ этой части будетъ $P_e = pd_e^2\frac{\pi}{4}$; если d будетъ діаметръ какой нибудь изъ частей BC, CD, или DE, все равно, какова ни была его величина, мы будемъ имѣть для этой части полную продольную силу

$$P+Q = P_e = pd_e^2\frac{\pi}{4}$$

и такъ какъ $P = \frac{\pi d^2}{4}p$, величина Q опредѣляется выраженіемъ

$$Q = \frac{\pi}{4}(d_e^2 - d^2)p \quad \ldots\ldots\ldots \quad (48),$$

которое можетъ быть больше или меньше нуля, смотря по тому, что будетъ больше, d_e или d. Это уравненіе одинаково примѣняется какъ къ части трубы, лежащей лѣвѣе расширителя, такъ и къ части трубопровода, лежащей правѣе расширителя, если только трубопроводъ подверженъ лишь разсмотрѣннымъ нами силамъ и въ немъ нѣтъ никакихъ постороннихъ, внѣшнихъ вліяній; уравненіе это примѣнимо и ко всей кривой части на чер. 44. Въ такомъ колѣнѣ и въ другихъ подобныхъ случаяхъ смѣщающая сила зависитъ отъ діаметра d_e скользящей части; здѣсь она не можетъ быть уравновѣшена продольнымъ напряженіемъ въ самой стѣнкѣ трубы и необходимо какимъ нибудь образомъ уравновѣсить ее приложенною извнѣ силою.



Чер. 46.

Мы уже видѣли, что возможно приложить эту внѣшнюю уравновѣшивающую силу въ видѣ давленія, распредѣленнаго равномѣрно по всей длинѣ колѣна и равнаго $\frac{P+Q}{R}$ на единицу этой длины. Другой способъ приложенія внѣшнихъ уравновѣшивающихъ вліяній сейчасъ разсмотримъ.

§ 18. Колѣно работающее какъ балка. Если мы опять предположимъ, что колѣно снабжено по концамъ цилиндрическими придатками, которые могутъ скользить безъ тренія въ стаканахъ сальниковъ (чер. 44), и предположимъ, что сами стаканы сальниковъ неподвижно прикрѣплены къ какимъ нибудь опорамъ, которыя ихъ держатъ на мѣстѣ, то въ этомъ случаѣ колѣно можетъ быть разсматриваемо какъ кривая балка, поддержанная на каждомъ концѣ опорами (грундъ-буксами сальниковъ), которыя оказываютъ на колѣно реакціи, направленныя перпендикулярно къ поверхностямъ концовъ колѣна, и лежащія въ плоскости кривой оси колѣна. Между этими двумя опорами балка (колѣно) нагружена равномѣрно распредѣленнымъ давленіемъ, направленнымъ вездѣ по радіусамъ оси трубы. Опоры надо считать не защемляющими балку, а лишь свободно поддерживающими ее, ибо абсолютной жесткостію сальники никогда не могутъ обладать.

По правиламъ статики сейчасъ же находимъ реакціи опоръ A и B, именно (чер. 46):

$$S = (P+Q)\cdot\operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (49),$$

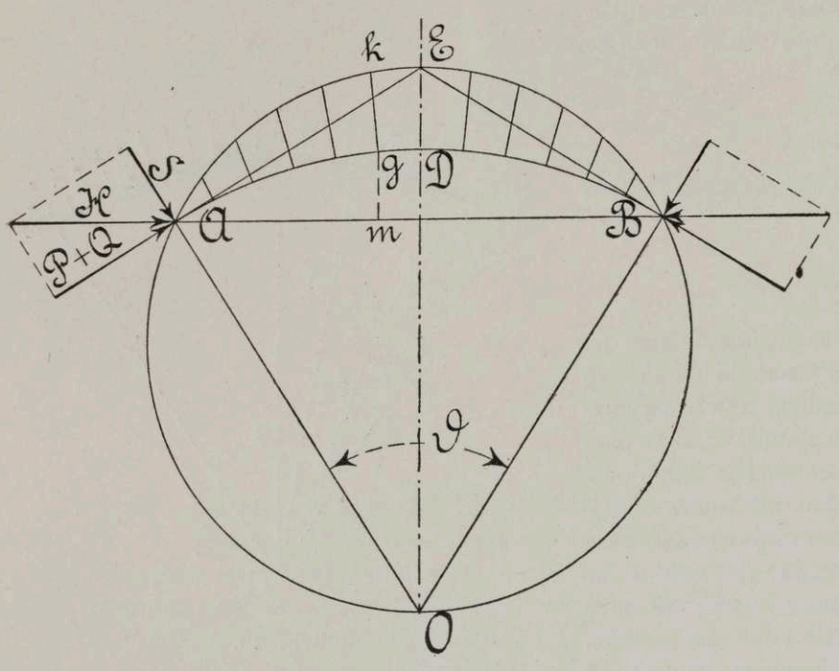
гдѣ $P+Q$ представляетъ полную осевую силу. Наибольшій сгибающій моментъ будетъ находиться, конечно, на срединѣ колѣна и величина его легко найдется по ур. 50 (чер. 46):

$$M = (P+Q)\operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2} \times R\sin\frac{\vartheta}{2} - \int_0^{\frac{\vartheta}{2}} \frac{P+Q}{R}R\,d\xi \times R\sin\left(\frac{\vartheta}{2}-\xi\right) = (P+Q)\,R\left[\frac{\sin^2\frac{\vartheta}{2}}{\cos\frac{\vartheta}{2}} - \left(-\cos\frac{\vartheta}{2}+1\right)\right] =$$

$$= (P+Q)\cdot R\cdot\left[\sec\frac{\vartheta}{2}-1\right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (50)\ *.$$

* Уравненіе (50) не трудно получить составивъ сперва общее выраженіе сгибающаго момента въ произвольномъ сѣченіи OX, проведенномъ черезъ центръ балки O и составляющемъ съ радіусомъ OA уголъ φ. Моментъ отъ сопротивленія опоры S, опредѣляемаго ур. (49), напишется сразу;

Не трудно построить для этого случая и всю кривую сгибающихъ моментовъ. Положимъ опять, что ADB на чер. 46bis будетъ нейтральная ось или центральная линія нашего сегмента или колѣна, соотвѣтствующая центральному углу ϑ, и O будетъ центръ этой дуги. Проведемъ въ точкахъ A и B касательныя, перпендикулярныя къ радіусамъ OA и OB и соединимъ точку пересѣченія ихъ E съ центромъ O. Не трудно видѣть, что длина DE равна $R(\sec\frac{\vartheta}{2}-1)$, и что осевая по трубѣ сила $P+Q$, умноженная на длину DE, будетъ представлять сгибающій моментъ въ точкѣ D. Если черезъ три точки A, E и B проведемъ дугу круга, которая, какъ не трудно убѣдиться, пройдетъ и черезъ точку O, то отрѣзокъ любого радіуса, проведеннаго изъ центра O, взятый между дугами AEB и ADB, т. е. напр. отрѣзокъ gk, представитъ въ извѣстномъ масштабѣ, величину сгибающаго момента для сѣченія, проходящаго черезъ точку g.



Чер. 46bis.

Можно пояснить полученіе этой діаграммы и иначе.

Именно, можно разсматривать силы $P+Q$ и S какъ внѣшнія силы, дѣйствующія на колѣно. Равнодѣйствующая H этихъ силъ пойдетъ по направленію хорды AB и величина ея будетъ равна $(P+Q)\sec\frac{\vartheta}{2}$. Изъ этого слѣдуетъ, что если мы проведемъ хорду AB, то моментъ въ любой точкѣ g будетъ пропорціоналенъ перпендикуляру gm и будетъ равенъ этому перпендикуляру, умноженному на силу H, или, все равно, на силу $(P+Q)\sec\frac{\vartheta}{2}$.

Примѣръ.—Въ частномъ случаѣ, взятомъ въ § 15, уголъ ϑ, стягиваемый дугою ADB, равенъ 45^0, такъ что $\sec\frac{\vartheta}{2}=1{,}08248$; при радіусѣ въ 6mt будемъ имѣть тогда

$$6\cdot 0{,}08248 = 0{,}495\text{mt}.$$

Если наружный діаметръ скользящей части будетъ 980mm, какъ принято въ этомъ примѣрѣ, то при напорѣ въ 10atm, сила $P+Q$ будетъ равна 75430kg и сгибающій моментъ по срединѣ длины дуги будетъ

$$M_D = 75430 \times 0{,}495 = 37338\text{kgmt}.$$

§ 19. Труба, работающая какъ балка, закрѣпленная однимъ концомъ. Возьмемъ колѣно, состоящее изъ двухъ прямыхъ частей AB и DE, оси которыхъ составляютъ между собою прямой уголъ, и которыя соединены кривою частію BCD, ось которой есть дуга круга, стягиваю-

---

онъ будетъ равенъ $(P+Q)\cdot tg\frac{\vartheta}{2}\cdot R\sin\varphi$; моментъ же отъ равномѣрно-распредѣленной радіальной нагрузки, величина которой на единицу длины дуги равна $\frac{P+Q}{R}$, напишется въ видѣ интеграла, въ предѣлахъ измѣненія перемѣннаго угла ξ отъ нуля до φ, въ видѣ $\int_0^{\varphi}\frac{P+Q}{R}\cdot Rd\xi\cdot R\sin(\varphi-\xi)$. Этотъ моментъ по знаку противоположенъ моменту отъ сопротивленія опоры, такъ что окончательная величина сгибающаго момента будетъ

$$M_\varphi = (P+Q)\operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2}\cdot R\sin\varphi - \int_0^{\varphi}\frac{P+Q}{R}\cdot Rd\xi\cdot R\sin(\varphi-\xi) = (P+Q)\operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2}\cdot R\sin\varphi -$$

$$-(P+Q)R\cdot\Big|_0^{\varphi}[+\cos(\varphi-\xi)] = (P+Q)\operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2}\cdot R\sin\varphi - (P+Q)R\cdot[1-\cos\varphi] =$$

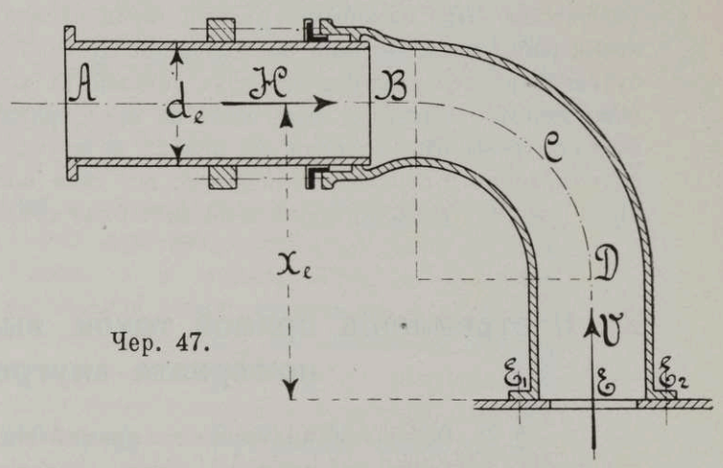
$$= (P+Q)R\cdot\Big[\operatorname{tg}\frac{\vartheta}{2}\cdot\sin\varphi - 1 + \cos\varphi\Big] \quad \cdots\cdots\cdots \quad (51).$$

Этого вывода въ оригиналѣ у Фидлера нѣтъ.

А. С.

щая уголъ въ 90°, чер. 47. Положимъ, что при B имѣется обыкновенный скользящій расширитель. Подобное устройство весьма часто встрѣчается въ паропроводахъ большихъ пароходныхъ машинъ и въ такомъ случаѣ вѣтвь DE соотвѣтствуетъ той части трубопровода, которая привертывается къ золотниковой коробкѣ, обыкновенно помощію флянцевъ, такъ что флянецъ E_1E_2 надо тогда считать привернутымъ къ золотниковой коробкѣ.

Будемъ разсматривать самую металлическую трубу $BCDE$ и жидкость, ее наполняющую, какъ одно цѣлое тѣло, которое, какъ таковое одно цѣлое, подвергается дѣйствію внѣшнихъ силъ H и V. Сила H есть наибольшее продольное усиліе $P+Q$, равное $\frac{\pi d_e^2}{4}p$. Величина же силы V будетъ равна $\frac{\pi d^2}{4}\cdot p$, такъ какъ сила эта обусловлена давленіемъ жидкости на кривую часть колѣна и, какъ показано въ предыдущей главѣ, она равна давленію на соотвѣтствующую проэкцію этой поверхности; проэкція же кривой части на плоскость, перпендикулярную къ DE, будетъ кругъ съ діаметромъ d. Величина діаметра того отверстія, которое имѣется въ томъ мѣстѣ стѣнки, при E, гдѣ наша труба присоединяется къ этой стѣнкѣ, не играетъ здѣсь роли *.



Чер. 47.

Сила H сгибаетъ наше колѣно какъ балку, ущемленную однимъ своимъ концомъ, при E_1E_2, и свободную на другомъ концѣ. Сила же V, которой прямая часть AB обыкновенно не бываетъ въ состояніи оказать какого либо сопротивленія, будетъ цѣликомъ передаваться на флянецъ E_1E_2, стремясь оторвать его отъ стѣнки коробки.

Итакъ, у основанія E_1E_2 колѣна мы будемъ имѣть дѣйствующія на него слѣдующія вліянія:

1).—Сгибающій моментъ M_e, равный $H\cdot x_e$, гдѣ x_e есть плечо силы H, т. е. разстояніе отъ оси части AB до основанія E_1E_2.

2).—Срѣзывающая сила, направленная параллельно оси трубы AB и равная H;

3).—Растягивающая сила V, направленная по оси трубы ED.

Изъ этого видно, что часть трубы DE подвергается эксцентрическому растяженія и срѣзу.

Тѣ же величины дѣйствующихъ на трубу силъ мы получили бы и другимъ путемъ, именно, разсмотрѣвши не давленіе жидкости на жидкость, а давленіе жидкости на криволинейныя стѣнки нашей трубы. Это давленіе, ничѣмъ не уравновѣшенное, дало бы намъ въ результатѣ смѣщающую силу, направленную въ каждой точкѣ закругленія перпендикулярно къ его оси и распредѣленную по длинѣ этой криволинейной оси равномѣрно. Находя слагающія этого давленія по направленіямъ осей AB и DE, мы получимъ тѣ же самыя величины, какъ и раньше.

Примѣръ.—Положимъ, что внутренній діаметръ трубы на чер. 47 равенъ 450mm, а толщина стѣнокъ равна 12mm, такъ что діаметръ отверстія въ сальникѣ равенъ 474mm. Пусть длина x_e будетъ равна 1200mm. Давленіе въ трубѣ примемъ равнымъ 5atm избыт.

Сила H будетъ равна

$$\frac{\pi\cdot 474^2}{4}\cdot 0{,}05 = 8840\text{kg},$$

и сгибающій моментъ у основанія E_1E_2 части трубы DE будетъ

$$M_e = 8840 \times 1{,}2 = 10608\text{kgmt}.$$

Сила V будетъ равна

$$\frac{\pi\cdot 450^2}{4}\cdot 0{,}05 = 7952\,\text{kg}.$$

* У Фидлера здѣсь допущена ошибка. Вмѣсто сказаннаго нами выше относительно силы V, у Фидлера сказано слѣдующее:

„Величина же силы V будетъ зависѣть отъ діаметра того отверстія, которое имѣется въ той стѣнкѣ золотниковой коробки, къ которой привернутъ флянецъ E_1E_2. Обыкновенно діаметръ этого отверстія дѣлается равнымъ внутреннему діаметру трубы d и тогда сила V будетъ равна $P=\frac{\pi d^2}{4}\cdot p$“, что совершенно невѣрно, ибо V отъ діаметра отверстія **не** зависитъ и в с е г д а будетъ равно $\frac{\pi d^2}{4}\cdot p$.

Въ серьезныхъ случаяхъ не слѣдуетъ пренебрегать вліяніемъ силъ H и V на соединенную съ трубой машину, напр. на золотниковую коробку и связанную съ нею раму или станину паровой машины, въ особенности вертикальной.

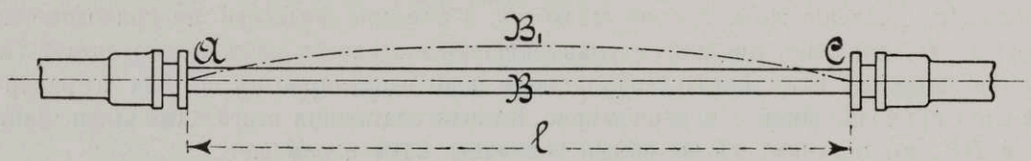
§ 20. Предохранительные болты. Не разъ случалось, что паровыя трубы, построенныя въ видѣ описаннаго сейчасъ колѣна, были вырываемы изъ сальника разобранными сейчасъ смѣщающими силами и причиняли несчастія; для избѣжанія такихъ несчастій стали устраивать такъ называемые „предохранителъные болты“ при всѣхъ сальникахъ съ колѣномъ, разъ діаметръ трубъ довольно большой.

Слѣдуетъ, однако, помнить, что на эти болты и надо смотрѣть лишь какъ на предохранительные, и не смотря на ихъ присутствіе, дѣлать все таки части колѣна достаточно прочными, чтобы онѣ сами по себѣ могли бы сопротивляться дѣйствію вырывающихъ силъ; это необходимо потому, что, если мы хотимъ, чтобы нашъ сальникъ дѣйствительно работалъ какъ расширитель и позволялъ трубамъ свободно удлиняться, то надобно будетъ установить гайки предохранительныхъ болтовъ такъ, чтобы онѣ въ извѣстныхъ, допустимыхъ предѣлахъ не мѣшали бы этому свободному расширенію. При паровыхъ трубахъ, когда расширеніе ихъ достигаетъ наибольшей величины во время работы, при теченіи по трубопроводу горячаго пара, опорныя поверхности гаекъ болтовъ будутъ наиболѣе удалены отъ тѣхъ деталей, въ которыя онѣ должны упираться, и потому на болты надо, понятно, смотрѣть лишь какъ на предохранительные, могущіе помѣшать полному вырыванію трубы изъ сальника, но никакъ не могущіе воспринимать все время работы вырывающую силу, которая и при ихъ наличности, все таки воспринимается и уравновѣшивается сопротивленіемъ самихъ трубъ, которыя и должны быть сдѣланы достаточно прочными для этой цѣли.

2). О стремленіи прямой трубы выпучиваться подъ дѣйствіемъ равномѣрнаго внутренняго давленія.

§ 21. Осевыя напряженія въ прямой жидкой колоннѣ.—Въ тѣхъ случаяхъ, когда прямая труба, имѣющая значительную длину, поддержана только на своихъ концахъ, или же и еще въ нѣсколькихъ точкахъ своей длины, но такъ, что эти поддержки не препятствуютъ трубѣ свободно выгибаться между ними, бываетъ иногда необходимо разсмотрѣть трубу какъ жидкую колонну, могущую выгнуться подъ дѣйствіемъ давленія жидкости, дѣйствующаго вдоль ея оси.

То обстоятельство, что подъ дѣйствіемъ продольной силы, хотя и направленной по оси тѣла, длинныя колонны и стержни все таки выгибаются, извѣстно каждому; явленіе это объясняется въ Механикѣ и мы могли бы это объясненіе примѣнить прямо и къ случаю нашей трубы. Но для



Чер. 48.

большей ясности и наглядности мы разсмотримъ вопросъ объ выпучиваніи трубы подъ дѣйствіемъ внутренняго давленія—*непосредственно*, какъ слѣдствіе дѣйствія на внутреннюю поверхность стѣнокъ трубы неуравновѣшеннаго внутренняго давленія.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ матеріалъ стѣнки трубы подвергается непосредственно сжимающему дѣйствію отъ давленія жидкости Q на обнаженную площадь поперечнаго сѣченія трубы (на толщину ея стѣнокъ), какъ это мы видѣли въ предыдущихъ примѣрахъ и въ этомъ случаѣ не трудно представить себѣ, что дѣйствіе на трубу такого продольнаго, сжимающаго усилія, приложеннаго на двухъ концахъ трубы, вызоветъ въ ней стремленіе выпучиваться или продольный изгибъ, совершенно такъ же, какъ въ длинной круглой пустотѣлой колоннѣ, нагруженной у своихъ оконечностей. Но совсѣмъ не такъ легко представить себѣ, какъ можетъ давленіе жидкости, находящейся *внутри* трубы, распредѣленное равномѣрно по всей длинѣ ея, и направленное вездѣ *перпендикулярно къ ея оси*, т. е. по радіусамъ, вызвать въ трубѣ подобное же стремленіе, и какъ можетъ внутреннее давленіе выгибать трубу, которая не подвергается отъ него никакому продольному сжимающему дѣйствію? Это обстоятельство мы теперь и постараемся разъяснить возможно подробнѣе и нагляднѣе.

§ 22. Смѣщающія силы вслѣдствіе упругаго прогиба. — Для того, чтобы пояснить, какимъ образомъ труба, первоначально совершенно прямая, можетъ подвергнуться дѣйствію смѣщающихъ силъ, предположимъ, что труба ABC на чер. 48 имѣетъ на обоихъ концахъ скользящіе расширители, которыхъ наружныя части или самые раструбы накрѣпко прикрѣплены къ чему

нибудь неподвижному и неизмѣняемому (фундаменту и т. п.), сама же труба между этими сальниками совершенно свободна и можетъ свободно выгибаться въ сторону по направленію любого изъ радіусовъ; концы трубы, лежащіе въ сальникахъ, нельзя, конечно, считать защемленными, а ихъ надо разсматривать **какъ свободно лежащіе** въ опорахъ, которыя мѣшаютъ имъ сойти съ направленія оси трубы, но не мѣшаютъ имъ наклоняться, а трубѣ — изгибаться.

Предположимъ, что вѣсъ трубы совершенно уравновѣшенъ, также какъ и вѣсъ воды въ ней, такъ что на прогибъ не вліяетъ. Тогда очевидно, что *если труба совершенно прямая*, то и давленія жидкости въ ней совершенно уравновѣсятся и *никакого* изгибающаго трубу момента при этихъ условіяхъ быть не можетъ. Совершенно подобныя же условія мы имѣемъ и въ случаѣ длинныхъ колоннъ или стержней. До тѣхъ поръ, пока колонна остается совершенно точно тѣломъ съ прямой осью, никакихъ сгибающихъ моментовъ отъ направленной по этой оси нагрузки не получается. И въ томъ и въ другомъ случаѣ, трубы и колонны, мы не видимъ никакихъ видимыхъ силъ, которыя могли бы вызвать первоначальный прогибъ. Но въ обоихъ случаяхъ, какъ только произойдетъ почему либо первоначальный, даже весьма малый прогибъ, появляется сейчасъ же сгибающій моментъ, который стремится этотъ прогибъ все увеличивать и самъ растетъ съ его увеличеніемъ. Въ трубѣ, такимъ образомъ, разъ она нѣсколько согнута, будетъ расти смѣщающее и прогибающее дѣйствіе по мѣрѣ увеличенія искривленія трубы.

Такимъ образомъ, аналогія между нашей трубой и длинной колонной — полная, и чтобы изслѣдовать условія устойчивости нашей трубы мы должны поступить совершенно такъ же, какъ и при изслѣдованіи продольнаго изгиба длинныхъ колоннъ, т. е. предположить, что вслѣдствіе какой нибудь случайной причины труба получила первоначальное легкое искривленіе и затѣмъ вычислить смѣщающее (или прогибающее) дѣйствіе, которое растетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ прогиба и посмотрѣть, будетъ ли это дѣйствіе (сила или моментъ ея) болѣе или менѣе тѣхъ сопротивленій, которыя способна оказать труба вслѣдствіе того же самаго прогиба, который вызываетъ къ жизни какъ силы изгибающія трубу, такъ и силы противодѣйствующія этому, именно силы упругости матеріала стѣнокъ трубы.

Итакъ, предположимъ, что труба ABC слегка изогнута, или можетъ быть изогнута такъ, что предѣлъ упругости не перейденъ и труба принимаетъ видъ AB_1C, отъ чего по срединѣ длины ея получается стрѣла прогиба $\delta = BB_1$. Для упрощенія нашихъ дальнѣйшихъ выводовъ предположимъ, что упругая линія, т. е. изогнутая ось трубы, представляетъ изъ себя *дугу круга* съ нѣкоторымъ радіусомъ R (такое положеніе не даетъ особенно значительной ошибки ввиду того, что прогибъ мы предполагаемъ очень малымъ): тогда на основаніи ур. (43) мы можемъ выразить смѣщающую силу n на единицѣ длины; она будетъ равна $\frac{P}{R}$ и ввиду незначительности прогиба мы можемъ считать, что всѣ такія давленія, которыя, строго говоря, направлены въ каждой точкѣ перпендикулярно къ изогнутой оси трубы, направлены параллельно, такъ что всѣ онѣ перпендикулярны къ первоначальной оси трубы. При такихъ упрощеніяхъ рѣшеніе задачи не представляетъ особыхъ затрудненій.

§ 23. Приближенныя условія равновѣсія. — Не задаваясь вопросомъ — вслѣдствіе чего первоначально совершенно прямая ось трубы могла бы искривиться — предположимъ, что такое искривленіе все таки произошло и притомъ въ незначительной степени, такъ что напряженіе вслѣдствіе такого прогиба никоимъ образомъ не выходитъ изъ предѣловъ упругости. Зададимъ теперь себѣ вопросъ, который является въ высшей степени важнымъ для сужденія объ устойчивости трубы, находящейся въ названныхъ сейчасъ условіяхъ—именно „а что, будетъ ли труба послѣ появленія такого начальнаго прогиба прогибаться еще и далѣе, или же она выпрямится благодаря силамъ упругости, вызваннымъ въ ней вслѣдствіе первоначальнаго прогиба?“ Очевидно напередъ, что рѣшеніе вопроса въ томъ или другомъ смыслѣ будетъ всецѣло зависѣть отъ относительной величины возвращающей силы, обусловленной упругостію матеріала трубы, по сравненію со смѣщающей силой, стремящейся прогибать трубу еще далѣе.

Какъ уже сказано выше, для упрощенія вычисленій мы предполагаемъ, что изогнутая ось трубы есть дуга круга съ значительнымъ радіусомъ. Тогда приближенно величина этого радіуса можетъ быть выражена черезъ стрѣлку δ дуги AB_1C и длины хорды ея l такимъ образомъ:

$$R = \frac{l^2}{8\delta}.$$

Смѣщающая сила, какъ сказано выше, представляется давленіемъ, равномѣрно распредѣленнымъ по длинѣ l, и величина котораго n на единицы длины будетъ.

$$n = \frac{P}{R} = P.\frac{8\delta}{l^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (52).$$

Считая, что нашъ „брусокъ“, т. е. труба, лежитъ на опорахъ свободно, мы получимъ для него сгибающій моментъ отъ вычисленной сейчасъ равномѣрной нагрузки въ видѣ

$$M_B = \frac{nl^2}{8} = P\delta \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (53).$$

Единственной силой, сопротивляющейся этому сгибающему моменту, является сила упругости, вызванная въ трубѣ вслѣдствіе прогиба ея. Если I есть моментъ инерціи поперечнаго сѣченія трубы относительно одного изъ діаметровъ, то стрѣла прогиба трубы выразится, какъ извѣстно изъ Сопротивленія Матеріаловъ, при равномѣрной нагрузкѣ q на единицу длины, слѣдующимъ образомъ:

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{ql^4}{EI}.$$

Эту формулу мы можемъ истолковать себѣ и иначе, именно, что при прогибѣ δ, не выходящемъ изъ предѣловъ упругости, брусъ (наша труба) способенъ выдерживать на единицѣ своей длины нагрузку

$$q = n_1 = \frac{384}{5} \cdot \delta \frac{EI}{l^4} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (54).$$

Величину n_1 мы можемъ назвать равномѣрно распредѣленнымъ упругимъ сопротивленіемъ трубы и теперь, для разсмотрѣнія условій равновѣсія нашей трубы, намъ остается только сравнить между собою величины приходящихся на единицу длины смѣщающей и упруго-сопротивляющейся силъ. Такимъ образомъ, мы должны смотрѣть, будетъ ли величина n, вычисляемая по ур. (52), болѣе или менѣе, чѣмъ величина n_1, получаемая изъ ур. (54), или, стало быть, будетъ ли P болѣе или менѣе, нежели $\frac{48}{5} \cdot \frac{EI}{l^2}$.

Изъ сказаннаго сейчасъ очевидно, что рѣшеніе вопроса въ смыслѣ неустойчивости или устойчивости трубы совершенно не зависитъ отъ нашей, принятой произвольно, числовой величины δ, т. е. первоначальнаго прогиба. Вмѣстѣ съ увеличеніемъ этого прогиба одновременно растутъ—*пропорціонально ему*—и смѣщающая сила и упругое сопротивленіе, и все дѣло обусловлено только **отношеніемъ** этихъ двухъ величинъ. Итакъ, если послѣ сравненія величинъ n и n_1 мы найдемъ, что при прогибѣ, равномъ какой нибудь единицѣ длины (напр. одному дюйму), смѣщающая сила будетъ больше, чѣмъ упругое сопротивленіе на ту же единицу длины, то изъ этого мы заключаемъ, что такое же неравенство будетъ имѣть мѣсто и въ томъ случаѣ, если прогибъ будетъ равенъ четверти дюйма, или одной тысячной дюйма и т. п., и намъ нѣтъ никакой надобности входить послѣ этого въ дальнѣйшія разсужденія о томъ—„а отчего бы это труба могла первоначально прогнуться?“ Критическая величина силы P, стоящая на границѣ между перевѣсомъ той или другой силы, есть, очевидно,

$$P_c = \frac{48}{5} \cdot \frac{EI}{l^2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (55),$$

если назовемъ эту предѣльную величину черезъ P_c; тогда мы можемъ сказать, что если P *болѣе*, чѣмъ P_c, то труба выпучиваться въ бокъ *будетъ*; если же P менѣе, нежели P_c, то труба выпучиваться въ бокъ не будетъ, упругое равновѣсіе ея будетъ **устойчивымъ**, и если даже мы нарочно прогнемъ ее (не выходя, конечно, изъ предѣловъ упругости), то она послѣ такого прогиба сама собою возвратится, какъ пружина, вслѣдствіе своей упругости, въ первоначальное состояніе.

§ 24. Точное опредѣленіе критическаго или выпучивающаго давленія. — Разсужденіе, которымъ мы пользовались въ предыдущемъ параграфѣ, не совсѣмъ точно, ибо мы предположили для простоты, что упругая линія будетъ просто дуга круга. Это, конечно, не точно, и на самомъ дѣлѣ кривизна изогнутой оси трубы будетъ перемѣнная по всей ея длинѣ, а вмѣстѣ съ этимъ будетъ перемѣнной и величина смѣщающей силы на единицѣ длины (или на элементѣ длины, если вездѣ брать элементъ одной и той же безконечно малой длины).

Мы не станемъ здѣсь дѣлать какихъ либо предположеній относительно точнаго вида упругой линіи, а обратимъ лишь вниманіе на основныя положенія, которыми приходится пользоваться при точномъ рѣшенін вопроса, послѣ чего самый ходъ рѣшенія сдѣлается совершенно яснымъ.

1). При *произвольномъ* законѣ распредѣленія нагрузки по длинѣ трубы, который пусть для наглядности представленъ графически нѣкоторой діаграммой нагрузокъ, мы всегда можемъ построить соотвѣтствующую этому распредѣленію кривую сгибающихъ моментовъ и рѣшеніе этой задачи будетъ лишь единственное, т. е. каждой данной кривой нагрузокъ будетъ соотвѣтствовать лишь одна единственная, вполнѣ опредѣленная кривая моментовъ.

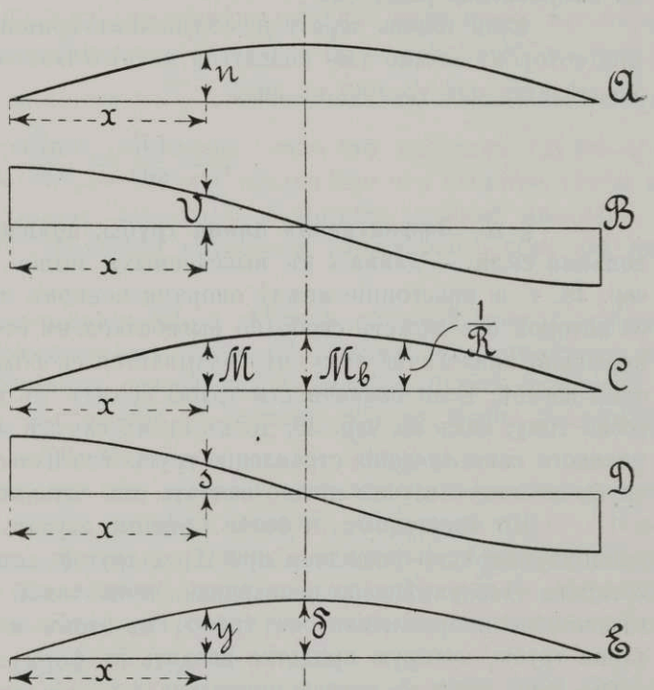
2). Предполагая, что наша труба есть брусъ, имѣющій во всякомъ мѣстѣ длины одно и то же поперечное сѣченіе, мы, при помощи кривой моментовъ будемъ въ состояніи построить кривую прогибовъ.

3). У построенной такимъ образомъ кривой прогибовъ мы можемъ во всякой точкѣ найти уклонъ ея, измѣряемый тангенсомъ угла наклона касательной въ этой точкѣ, и радіусъ кривизны ея R и кривизну, равную $\frac{1}{R}$; эта кривизна, какъ извѣстно, пропорціональна во всякой точкѣ сгибающему моменту.

4). Изъ этого слѣдуетъ, что если построимъ кривую, ординаты которой представляютъ величины $\frac{1}{R}$, то эти ординаты должны быть пропорціональны ординатамъ кривой моментовъ, построенной раньше, такъ что кривая кривизнъ будетъ представлять изъ себя ту же кривую моментовъ, но начерченную какъ бы въ другомъ масштабѣ, т. е. будетъ *подобна* кривой моментовъ; съ другой стороны, эта кривая будетъ подобна и кривой нагрузокъ, ибо во всякой точкѣ нагрузка на единицу длины выражается черезъ $n = \frac{P}{R}$, т. е. пропорціональна $\frac{1}{R}$.

Хотя въ дѣйствительности ничто не указываетъ намъ на то, какова именно будетъ въ данномъ случаѣ любая изъ перечисленныхъ здѣсь кривыхъ, тѣмъ не менѣе соображеніе 4) даетъ намъ искомое рѣшеніе и опредѣляетъ форму всѣхъ нашихъ кривыхъ. Дѣйствительное распредѣленіе смѣщающей (или прогибающей) силы зависитъ отъ формы упругой линіи, а оно въ свою очередь обусловливаетъ форму кривой моментовъ и кривой прогибовъ. Но кривая прогибовъ и есть сама упругая линія, или изогнутая ось трубы.

Начертимъ всѣ наши пять кривыхъ одну надъ другою для большей наглядности и сравненія ихъ взаимныхъ отношеній (чер. 49). Пусть кривая A представляетъ своими ординатами законъ распредѣленія неизвѣстной нагрузки или, все равно, законъ распредѣленія смѣщающей силы по длинѣ трубы. Ордината кривой B представляетъ срѣзывающую силу въ какомъ нибудь поперечномъ сѣченіи, а кривая C пусть будетъ кривая сгибающихъ моментовъ. Кривая D представляетъ своими ординатами величины уклоновъ кривой прогибовъ, а кривая E—самую кривую прогибовъ. Какъ извѣстно изъ Строительной Механики, кривая B можетъ быть получена изъ кривой A при помощи интегрированія, или же изъ кривой C при помощи дифференцированія. Профессоръ T. Claxton Fidler показалъ въ своей статьѣ: „Continuous Girders“, помѣщенной въ Извѣстіяхъ Общества Гражданскихъ Инженеровъ (Transactions of the Institution Civil Engineers, томъ LXXIV), а также и въ его сочиненіи: „Bridge Construction“, что если кривая A извѣстна, и при помощи ея построены B и C, то можно при помощи ихъ построить затѣмъ и кривыя D и E. Въ самомъ дѣлѣ, не трудно видѣть, что уклонъ s, величина котораго дается ординатами діаграммы D, есть, какъ сказано выше, первая производная ординаты y кривой E; затѣмъ, величина $\frac{1}{R}$ пропорціональна производной отъ s, а съ другой стороны извѣстно, что сгибающій моментъ, изображаемый ординатами кривой C, тоже пропорціоналенъ величинѣ $\frac{1}{R}$.



Чер. 49.

Въ примѣненіи къ нашему случаю трубы основнымъ соотношеніемъ, опредѣляющимъ форму всѣхъ кривыхъ, является то, что кривая A должна быть подобна кривой C, такъ какъ смѣщающая сила на единицѣ длины (изгибающая нагрузка на единицѣ длины) въ каждой точкѣ пропорціональна величинѣ $\frac{1}{R}$.

Для того, чтобы это условіе было удовлетворено, необходимо, чтобы ординаты y кривой E прогибовъ слѣдовали бы такому закону, что ихъ вторая и четвертая производныя по x были бы или *равны* или *пропорціональны*, слѣдуя одному и тому же закону зависимости отъ x. Какъ извѣстно изъ Геометріи, такому требованію удовлетворяетъ кривая называемая *синусоидой*.

Пусть на кривой E величина δ есть наибольшой прогибъ на срединѣ длины трубы (хотя весьма малый) и пусть для всѣхъ значеній x между 0 и π соотвѣтствующія ординаты y слѣдуютъ закону

$y = \delta \cdot \sin x$; тогда построенная такимъ образомъ кривая можетъ представлять любую изъ кривыхъ: A, C или E, такъ что примѣняя надлежащіе масштабы ординатъ, мы на любой изъ этихъ кривыхъ можемъ мѣрить и прогибъ y въ произвольной точкѣ и кривизну $\frac{1}{R}$ и сгибающій моментъ M и величину смѣщающей силы на единицѣ длины n. Подобнымъ же образомъ, кривая косинусовъ можетъ представлять или уклоны кривой прогибовъ D или срѣзывающія усилія, т. е. кривую B.

Изъ сказаннаго здѣсь слѣдуетъ, что распредѣленіе смѣщающей (или прогибающей) силы по длинѣ никогда не можетъ быть равномѣрнымъ, какъ мы предположили для простоты въ предыдущемъ §, и что упругая линія никогда не будетъ дугою круга. Правда, если прогибъ малъ, то и ошибка не велика; но теперь мы можемъ взять для кривой прогибовъ точную, синусоидальную зависимость, удовлетворяющую всѣмъ условіямъ, которыя мы перечислили раньше, и сообразно этому точному выраженію измѣнить полученные раньше приближенные результаты. Принимая теперь точную, синусоидальную зависимость, мы получимъ

$$P_c = \pi^2 \frac{EI}{l^2} = 9{,}87 \frac{EI}{l^2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (56).$$

Какъ видно, эта формула совершенно одинакова съ извѣстной формулой *Эйлера*, данной имъ для продольнаго изгиба длинныхъ и тонкихъ призмъ или стержней и изъ этого мы можемъ заключить, что давленія жидкости, дѣйствующія вдоль оси трубы, въ смыслѣ способности ихъ выгибать или выпучивать трубу въ сторону, совершенно равнозначущи съ дѣйствіемъ на стержень продольныхъ силъ, приложенныхъ на оконечностяхъ его, хотя давленіе жидкости дѣйствуетъ не только на два концевыхъ сѣченія трубы, но дѣйствуетъ также и на стѣнки ея по всей ея длинѣ, по направленію радіусовъ.

Если теперь черезъ p_c обозначимъ *критическое давленіе* жидкости, т. е. такое давленіе, при которомъ можно уже опасаться неустойчиваго выгибанія и излома трубы, то величина его опредѣлится изъ ур. (56) въ видѣ

$$p_c = \frac{4 P_c}{\pi d^2} = \frac{4\pi EI}{l^2 d^2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (57).$$

§ 25. Эффективная длина трубы, подвергающейся выпучиванію и эффективная продольная сила. — Длина l въ выведенныхъ выше формулахъ представляетъ собою длину AC на чер. 48, т. е. разстояніе между опорами концовъ трубы, или, все равно, ту часть длины трубы, на которой она можетъ свободно выгибаться въ сторону по произвольному радіусу; эта длина совершенно аналогична тому, что называется свободной длиной колонны или стержня при продольномъ изгибѣ. Если оконечности трубы лежатъ въ расширителяхъ, гдѣ онѣ могутъ скользить, подобно тому, какъ на чер. 48, то въ этомъ случаѣ можно считать, что эти сальники не оказываютъ никакого сопротивленія стремленію трубы изогнуться, и поэтому свободную или эффективную длину трубы въ этомъ случаѣ можно считать отъ сальника до сальника, т. е. равною AC.

Но могутъ быть и болѣе сложные случаи, какъ напр. случай чер. 47, гдѣ труба однимъ концомъ накрѣпко ущемлена при A, а другой конецъ ея лежитъ въ скользящемъ расширителѣ, котораго тѣло укрѣплено неподвижно, хотя такой расширитель и не оказываетъ никакого сопротивленія по направленію оси трубы; въ этомъ и подобныхъ случаяхъ эффективная (свободная) длина трубы, которую придется вводить въ формулы для расчета, можетъ быть принимаема, подобно тому, какъ въ случаѣ продольнаго изгиба длинныхъ колоннъ, равной приблизительно двумъ третямъ или тремъ четвертямъ всей длины трубы между мѣстомъ ущемленія и сальникомъ.

При расчетѣ, такія трубы совершенно уподобляются длиннымъ стержнямъ или колоннамъ, сжимаемымъ продольною силою; надо только выяснить, что̀ слѣдуетъ въ случаѣ трубы понимать подъ продольною сжимающей нагрузкой и что̀ слѣдуетъ считать за эффективную сжимающую силу?

Не трудно видѣть изъ сказаннаго раньше, что роль такой продольной нагрузки будетъ въ случаѣ всякой трубы играть алгебраическая сумма силъ P и Q, дѣйствующихъ на жидкую и на твердую колонны (столбъ воды и толща стѣнокъ трубы), что̀ уже и было пояснено въ §§ 15 и 16.

Осевая сила P равносильна съ продольной нагрузкой такой же величины, какъ это сейчасъ объяснено, а сила Q есть прямо продольная нагрузка на пустотѣлую колонну (трубу), стремящаяся тоже ее выпучить, такъ что полная осевая сила будетъ $P + Q$, что̀ равно $p d_e^2 \frac{\pi}{4}$, гдѣ d_e есть наружный діаметръ трубы въ томъ мѣстѣ ея, которое ходитъ внутри сальника.

Для того, чтобы труба не выпучивалась бы подъ дѣйствіемъ этихъ силъ, необходимо, чтобы эффективная продольная нагрузка $P + Q$ была бы менѣе критической или предѣльной силы P_c, вычисляемой по формулѣ (56).

Величина внѣшней нагрузки на трубу обусловливается величиною наружнаго діаметра d_e той части ея, которая ходитъ въ сальникѣ; эта нагрузка передается черезъ всю длину ABC

(чер. 48) и въ каждомъ поперечномъ сѣченіи равна алгебраической суммѣ силъ P и Q. Если мы выполнимъ промежуточную часть трубы между оконечностями ея, лежащими въ сальникахъ, съ внутреннимъ діаметромъ d, равнымъ наружному діаметру d_e, то самый металлъ стѣнокъ трубы при такомъ устройствѣ избавится отъ дѣйствія сжимающей нагрузки на всей промежуточной длинѣ между расширителями, и стремленіе трубы выпучиться будетъ въ этомъ случаѣ вызываться только одною силою P, передающеюся черезъ жидкую колонну и величина этой продольной силы, передаваемой черезъ одну лишь жидкость на всей той части длины, гдѣ внутренній діаметръ равенъ d_e, будетъ $P = \frac{\pi d_e^2}{4} \cdot p$; условіе устойчивости трубы въ этомъ случаѣ будетъ опять состоять въ томъ, чтобы эффективная осевая сила, т. е. P, была бы меньше критической силы P_c.

Возможно пойти и еще далѣе, именно — придать промежуточной между оконечностями, части трубы внутренній діаметръ d б о л ь ш і й, нежели наружный діаметръ d_e части, лежащей въ сальникахъ; въ этомъ случаѣ вся промежуточная часть трубы (металлъ ея) будетъ подвергаться напряженію на р а с т я ж е н і е, величина котораго обусловлена разницею діаметровъ d и d_e, но, не смотря на это, тотъ же металлъ стѣнокъ трубы будетъ подвергаться выпучиванію силою, которая равна алгебраической суммѣ силъ P и Q $\left(\text{т. е. } \frac{\pi d_e^2}{4} \cdot p\right)$; условіе устойчивости опять будетъ состоять въ томъ, чтобы эта сумма была бы меньше, чѣмъ критическая сила P_c.

Резюмируя все сказанное сейчасъ, мы приходимъ къ заключенію, что стремленіе трубы выпучиваться совершенно не зависитъ отъ того — какимъ образомъ сжимающая сила передается черезъ *металлъ ея стѣнокъ*, но зависитъ исключительно отъ величины сжимающей или продольной силы, передающейся черезъ трубопроводъ, **какъ черезъ цѣлое**, т. е. черезъ металлъ стѣнокъ и черезъ жидкость внутри трубы. Очевидно, поэтому, что если представимъ себѣ трубу, или вѣрнѣе цилиндръ, закрытый по концамъ крышками, и наполненный жидкостію съ давленіемъ p, такъ что на каждую крышку производится давленіе жидкости $p \cdot \frac{\pi d^2}{4}$, то это давленіе на крышки будетъ уравновѣшиваться сопротивленіемъ стѣнокъ чистому растяженію, такъ что въ этомъ случаѣ $Q = -P$ и алгебраическая сумма $P + Q$ тождественно равна нулю, независимо отъ діаметра трубы и величины удѣльнаго давленія въ ней. Слѣдовательно, закрытый по концамъ прямой цилиндръ, наполненный жидкостію, совершенно не будетъ стремиться выгибаться въ стороны, какъ бы ни были слабы или гибки его стѣнки.

Но если подобный цилиндръ подвергнется еще и дѣйствію внѣшней продольной силы W, дѣйствующей вдоль его оси, то этой силой и будетъ теперь обусловлено его стремленіе выпучиваться въ стороны, такъ что подъ эффективной осевой силой надобно будетъ понимать теперь силу W, независимо отъ того, будетъ ли напряженіе въ металлѣ стѣнокъ трубы, вызываемое силою Q, положительно, отрицательно или равно нулю.

Въ заключеніе слѣдуетъ замѣтить, что есть все таки существенная разница между условіями работы на выпучиваніе длинной колонны, которая бываетъ нагружена только одною, дѣйствительно приложенною на ея концахъ, продольною силою, и трубы, у которой такое стремленіе обусловливается, кромѣ давленія на толщину стѣнокъ (силы Q), еще и дѣйствіемъ давленія жидкости, распредѣленнаго равномѣрно по всей ея длинѣ и дѣйствующаго по радіусамъ.

Вообще говоря, въ практикѣ далеко не всегда является необходимость и имѣется возможность—провѣрить трубы на продольный изгибъ, какъ длинную колонну, по форм. (56). Но, все таки, слѣдуетъ заботиться о томъ, чтобы величина критической силы P_c была бы значительно больше чѣмъ сила $P + Q$; какова должна быть допускаемая при этомъ степень надежности — сказать очень трудно, но, разъ сила P_c въ нѣсколько разъ болѣе, чѣмъ сила $P + Q$, то можно быть увѣреннымъ, что, если умышленно трубѣ не было дано замѣтнаго первоначальнаго прогиба, то стремленіе ея выпучиваться и вызываемое имъ напряженіе будутъ ничтожны.

3). Жидкія арки.

§ 26. Напорныя трубы, употребляемыя какъ трубчатыя арки. — Въ случаѣ большихъ водопроводовъ можно иногда встрѣтить гравитаціонныя магистральныя трубы, которыя приходится переводить черезъ рѣки и овраги при помощи мостовъ, устрояемыхъ спеціально для этой цѣли; было предложено нѣкоторыми конструкторами — строить такіе мосты въ видѣ трубчатыхъ арокъ, въ которыхъ с а м и т р у б ы играютъ роль пустотѣлыхъ жесткихъ дугъ или арокъ. Въ нѣкоторыхъ, правда немногочисленныхъ, случаяхъ такая конструкція дѣйствительно исполнялась, какъ въ случаѣ

водопроводныхъ, такъ и въ случаѣ газовыхъ трубъ. Иногда такое устройство можетъ оказаться полезнымъ и потому скажемъ здѣсь объ трубчатыхъ аркахъ. *

Такую арку мы можемъ, очевидно, разсматривать, какъ изогнутую трубу, обращенную выпуклостію кверху, подобно тому, какъ это дѣлали въ § 14; въ такой кривой трубѣ смѣщающая сила дѣйствуетъ какъ равномѣрно-распредѣленное давленіе, направленное вездѣ по радіусамъ кверху, такъ что дѣйствіе его противоположно дѣйствію силы тяжести; такимъ образомъ, часть вѣса сооруженія какъ бы поддерживается давленіемъ жидкости и поэтому напряженіе въ матеріалѣ трубы (въ поперечномъ сѣченіи) на сжатіе, вызываемое вѣсомъ всего сооруженія, уменьшается. Если смѣщающая сила будетъ достаточно велика, то, очевидно, она можетъ *совершенно* разгрузить металлъ арки отъ обычнаго въ ней сжимающаго напряженія, такъ что *вся нагрузка* (весь вѣсъ сооруженія) будетъ нестись *исключительно одною только водою*, водяною аркою, текущею внутри металлической (трубы), а эта послѣдняя работать на сжатіе совершенно не будетъ; наконецъ, если смѣщающая сила будетъ еще больше, то она будетъ стремиться приподнять всю арку кверху, и если трубы прикрѣплены къ устоямъ фундаментными болтами, то металлическая арка будетъ въ поперечныхъ сѣченіяхъ подвергаться уже не сжатію, а растяженію, подобно опрокинутому цѣпному мосту, вмѣстѣ съ которымъ опрокинулась какъ бы и нагрузка на него.

Если бы нашу трубу разсматривать какъ обыкновенную арку, имѣющую данное очертаніе и несущую извѣстный грузъ, то на основаніи общеизвѣстныхъ принциповъ теоріи арокъ мы могли бы вычислить продольный распоръ въ какомъ нибудь поперечномъ сѣченіи трубы и напряженіе на изгибъ, получающееся вслѣдствіе деформаціи подъ дѣйствіемъ нагрузки, или же обусловленное измѣненіемъ температуры; но въ нашемъ случаѣ арки, наполненной жидкостію, мы, въ добавокъ къ обычнымъ нагрузкамъ арокъ, должны присоединить еще смѣщающія силы, получающіяся вслѣдствіе давленія жидкости, что̀ и составляетъ особенность такого рода водопроводныхъ арокъ.



Чер 50.

Мы не будемъ разбирать здѣсь вопроса во всей его общности и во всѣхъ деталяхъ, а ограничимся лишь разсмотрѣніемъ нѣсколькихъ простѣйшихъ случаевъ.

§ 27. Прямое осевое напряженіе въ нагруженной трубчатой аркѣ. — Положимъ, что мостъ, показанный на чер. 50, состоитъ изъ двухъ (или болѣе) трубчатыхъ арокъ съ круглымъ поперечнымъ сѣченіемъ, помѣщенныхъ рядомъ и соединенныхъ для поперечной жесткости и устойчивости надлежащими поперечными скрѣпленіями; пусть каждая изъ этихъ арокъ составляетъ часть трубопровода (магистрали) и пусть арки по концамъ упираются своими флянцами въ наклонныя плоскости устоевъ при B и D, передавая силу на подложенныя подъ эти флянцы круглыя бляхи, которыя, въ свою очередь, передаютъ ее на устои.

Для простоты предположимъ, что арки нагружены исключительно только мертвой или неподвижной нагрузкой, которую составляетъ вѣсъ трубы и ея содержимаго, и положимъ, что форма дуги выбрана такимъ образомъ, что при нашей нагрузкѣ линія давленія совпадаетъ съ нейтральною осію арки, т. е. съ криволинейною осію нашей трубы. Предположимъ, что давленіе внутри арки одинаково во всѣхъ ея точкахъ; такое предположеніе будетъ очень близко къ дѣйствительности.

---

* Примѣры трубчатыхъ мостовъ, въ которыхъ роль моста играетъ сама труба, которая можетъ быть вполнѣ или отчасти лишь уравновѣшена, имѣются въ практикѣ. Мы приведемъ здѣсь нѣкоторые изъ нихъ.

Какъ на первый примѣръ укажемъ на арку гидроэлектрической станціи въ Praz, Savoy. Здѣсь вода подводится къ турбинамъ (полной мощностью всего въ 10000 лош. силъ) по *стальной* клепаной трубѣ, имѣющей длину около 3346 футъ и внутренній діаметръ въ 94,5 дюйма. Надъ рѣкой Arc трубопроводъ проходитъ въ видѣ уравновѣшенной арки съ чистымъ пролетомъ въ 164 фута. Концы арки приклепаны при помощи флянцевъ изъ углового желѣза къ горизонтальныъ частямъ трубопровода. Боковыя затяжки удерживаютъ трубу отъ выхожденія изъ своей плоскости.

Какъ на другой примѣръ можно указать на уравновѣшенную *чугунную* арку съ пролетомъ въ 120 футъ, описанную проф. W. R. Hutton въ журналѣ Engineering Record за 1899 годъ.

Третьимъ примѣромъ можетъ служить *деревянная* арка, на водопроводѣ Denver, Colorado, въ Америкѣ. Пролетъ этой арки равенъ 103,5 фута, а подъемъ (стрѣла дуги) — 9,85 фута. Подробности и рисунокъ см. далѣе, въ отдѣлѣ „Деревянныя Трубы“.

Разсмотримъ сначала тотъ случай, когда внутренній діаметръ d трубчатой арки во всѣхъ поперечныхъ сѣченіяхъ будетъ одинъ и тотъ же, такъ что полное давленіе жидкости въ каждомъ поперечномъ сѣченіи будетъ имѣть одну и ту же величину, равную $P = p\frac{\pi d^2}{4}$; распоръ же въ аркѣ будетъ слегка измѣняться при переходѣ отъ одного поперечнаго сѣченія къ другому.

Такъ, если мы предположимъ сперва нагрузку *равномѣрно распредѣленной* по всей длинѣ хорды или пролета BD, а арку предположимъ параболической, и назовемъ черезъ W всю нагрузку, пролетъ назовемъ черезъ L и нагрузку на единицу длины его, равную $\frac{W}{L}$, черезъ w, то по извѣстной теоріи параболическихъ арокъ будемъ имѣть величину

горизонтальнаго распора въ вершинѣ арки въ видѣ

$$H = W\frac{L}{8D} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (58),$$

и прямой осевой распоръ въ каждомъ поперечномъ сѣченіи дуги будетъ

$$C = H \cdot \sec\varphi \quad \cdots\cdots\cdots \quad (59),$$

гдѣ φ есть перемѣнный уголъ наклона арки въ какомъ нибудь поперечномъ сѣченіи.

Горизонтальное разстояніе CG до пересѣченія съ касательною BG равно, въ этомъ примѣрѣ, одной четверти пролета и точка G совпадаетъ съ центромъ тяжести нагрузки, распредѣленной равномѣрно на половинѣ длины пролета.

Но въ большинствѣ случаевъ практики центръ тяжести будетъ лежать ближе къ опорѣ (устою) и, слѣдовательно, кривая давленія будетъ по формѣ своей приближаться скорѣе къ дугѣ круга, нежели къ параболѣ. Въ уравновѣшенной *круговой* аркѣ центръ тяжести половины нагрузки долженъ совпадать съ пересѣченіемъ G двухъ равныхъ касательныхъ и точная величина горизонтальнаго распора будетъ въ такомъ случаѣ

$$H = \frac{W}{2} \cdot \operatorname{cotg}\frac{\vartheta}{2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (60),$$

гдѣ ϑ есть уголъ, стягиваемый всею дугою BCD, а $\frac{\vartheta}{2}$ будетъ уголъ наклона касательной BG къ горизонту. Какова бы ни была форма дуги, прямой распоръ мы можемъ выразить черезъ $C = H\sec\varphi$, и мы уже видѣли, что этотъ распоръ равенъ алгебраической суммѣ силъ, сжимающихъ самую металлическую трубу и жидкую колонну, въ ней заключенную. Прямая продольная сила, дѣйствующая въ поперечномъ сѣченіи металла трубы, будетъ равна, поэтому

$$Q = C - P = H\sec\varphi - P \quad \cdots\cdots\cdots \quad (61).$$

Если эта величина выйдетъ по вычисленіи положительной, то это значитъ, что труба подвергается напряженію на сжатіе; если же Q выйдетъ *отрицательнымъ*, то это будетъ значать, что труба подвергается напряженію на *растяженіе*, наподобіе цѣпного моста.

Примѣръ 1. — Предположимъ, что мостъ, изображенный на чер. 50, состоитъ изъ двухъ трубчатыхъ дуговыхъ арокъ, склепаныхъ изъ стальныхъ листовъ; внутренній діаметръ каждой трубы равенъ 36 дюймамъ и одинаковъ на всей длинѣ пролета, таковъ же и діаметръ трубъ AB и DE, которыя примыкаютъ къ нашему трубчатому мосту, образуя непрерывную линію трубъ. Пролетъ BD равенъ 120 футамъ, а подъемъ или стрѣла дуги пусть будетъ равенъ одной десятой пролета, т. е. 12 футамъ. Предположимъ, что наша арка — параболическая и что нагрузка распредѣлена *равномѣрно* по всей длинѣ пролета.

Вѣсъ такихъ клепаныхъ трубъ, склепаныхъ изъ листовъ, имѣющихъ полъ-дюйма толщины, при клепкѣ въ стыкъ съ двумя накладками, но безъ какихъ бы то ни было усиливающихъ реберъ и пр., можно считать равнымъ 2 центнерамъ на погонный футъ; вѣсъ воды, наполняющей такую трубу, будетъ равенъ 4 центнерамъ на погонный футъ, такъ что полная нагрузка на единицу длины пролета для двухъ трубъ будетъ составлять 12 центнеровъ на погонный футъ; прибавляя къ этому еще и мертвый вѣсъ всѣхъ другихъ частей сооруженія, именно, вѣсъ мостовой настилки и ея балокъ, вѣсъ раскосовъ и пр., мы примемъ полную нагрузку на одинъ футъ пролета равной 20 центнерамъ, такъ что полная нагрузка на мостъ будетъ $W = 120$ тоннъ; гидростатическое давленіе въ трубѣ пусть будетъ соотвѣтствовать напору въ 320 футъ.

Если мы сдѣлаемъ поперечное сѣченіе арки по срединѣ ея длины, т. е. въ самой высшей точкѣ, то горизонтальный распоръ, обусловленный нагрузкою W, будетъ здѣсь

$$H = 120 \times \frac{120}{8 \times 12} = 150 \text{ тоннъ}.$$

Но осевое давленіе жидкости въ каждой трубѣ будетъ равно, при напорѣ въ 320 футъ, 63 тоннамъ, такъ что на двѣ трубы придется давленіе жидкости въ 126 тоннъ, которое дѣйствуетъ прямо противоположно распору въ вершинѣ, и истинная сжимающая обѣ трубы сила въ вершинѣ будетъ равна

$$Q = C - P = 150 - 126 = 24 \text{ тонны},$$

т. е. 12 тоннъ на каждую трубу.

У оконечности трубы, въ мѣстѣ упора ея въ устой, мы имѣемъ

$$\sec\varphi = \frac{\sqrt{30^2 + 12^2}}{30} = 1{,}077$$

и здѣсь распоръ будетъ равенъ $C = 150 \times 1{,}077 = 161{,}5$ тонны; истинная же сжимающая здѣсь трубу сила будетъ

$$Q_B = 161{,}5 - 126{,}0 = 35{,}5 \text{ тонны},$$

и эта то сила и передается фундаментной плитѣ и устою.

Строго говоря, мы должны были бы сказать, что если напоръ въ трубѣ въ вершинѣ арки C равенъ 320 футамъ, то въ низшей точкѣ B дуги онъ будетъ равенъ $320 + 12 = 332$ футамъ, такъ что продольная сила давленія жидкости будетъ равна 130,7 тонны и сжимающая металлъ трубъ сила будетъ

$$Q_B = 161{,}5 - 130{,}7 = 30{,}8 \text{ тонны},$$

или 15,4 тонны на каждую трубу.

Примѣръ 2. — Если въ только что разсмотрѣнномъ мостѣ мы предположимъ, что напоръ въ вершинѣ арки равенъ 381 футу, то не трудно найти, что полное давленіе жидкости въ вершинѣ будетъ равно 150 тоннамъ: въ этомъ случаѣ, въ вершинѣ арки матеріалъ трубы не будетъ испытывать никакого напряженія въ поперечномъ сѣченіи; у подошвы же арки мы будемъ имѣть гидростатическій напоръ въ 393 фута, такъ что здѣсь сила P будетъ 154,8 тонны и матеріалъ трубъ будетъ испытывать дѣйствіе сжимающей силы Q въ

$$161{,}5 - 154{,}8 = 6{,}7 \text{ тонны}.$$

Если же мы предположимъ, что гидростатическій напоръ у подошвы арки, въ точкѣ B, составляетъ 402 фута, то въ такомъ случаѣ у подошвы труба не будетъ испытывать никакого напряженія въ поперечномъ сѣченіи и не будетъ давать никакого распора на устои. Въ этомъ случаѣ, слѣдовательно, **весь** распоръ арки передастся *исключительно* на жидкія колонны воды, наполняющія собою прилегающія къ аркѣ части трубъ AB и DE, и горизонтальная слагающая этого распора будетъ равняться давленію жидкости на поперечное сѣченіе сказанныхъ прямыхъ частей трубопровода и будетъ имъ уравновѣшиваться; вертикальная же слагающая этого распора будетъ равна $\frac{W}{2}$ и будетъ дѣйствовать на устой какъ вертикально направленная сила. Что касается вершины арки, то въ ней мы теперь найдемъ уже нѣкоторую р а с т я г и в а ю щ у ю силу, которая будетъ равна разности давленія жидкости въ вершинѣ арки, которое при напорѣ въ 390 футъ будетъ 156,7 тонны, и силы 150 тоннъ, т. е. будетъ равна 6,7 тонны.

Наконецъ, если гидростатическій напоръ будетъ болѣе чѣмъ 402 фута, то очевидно, что **вся** арка будетъ подвержена дѣйствію р а с т я г и в а ю щ и х ъ силъ, и напряженіе на растяженіе будетъ нѣсколько больше въ вершинѣ, нежели у подошвы арки.

Примѣръ 3. — Продѣлаемъ, наконецъ, нашъ примѣръ предполагая, что арка будетъ не параболическая, а *круговая*, такъ что ось ея представляетъ часть дуги круга; эта форма наиболѣе часто встрѣчается въ практикѣ. Тогда, при тѣхъ же размѣрахъ, которые были предположены и въ первыхъ двухъ примѣрахъ, мы легко найдемъ, что при пролетѣ въ 120 футъ и при стрѣлкѣ (подъемѣ) дуги въ 12 футъ, радіусъ дуги будетъ равенъ 156 футамъ, такъ что

$$\operatorname{cotg}\frac{\vartheta}{2} = \frac{156 - 12}{60} = \frac{12}{5}; \quad \operatorname{cosec}\frac{\vartheta}{2} = \frac{13}{5}; \quad \text{и} \quad \sin\frac{\vartheta}{2} = \frac{5}{13}.$$

Примемъ опять полную нагрузку равной 120 тоннамъ; если кривая давленія будетъ дуга круга, проходящая черезъ точки B, C и D, то центръ тяжести половины нагрузки долженъ лежать на одной вертикали съ точкою G, въ которой пересѣкаются касательныя BG и CG.

При такомъ распредѣленіи нагрузки горизонтальный распоръ въ вершинѣ арки будетъ

$$H = \frac{120}{2} \times \frac{12}{5} = 144 \text{ тонны},$$

а у оконечностей дуги распоръ будетъ

$$C_B = H\sec\frac{\vartheta}{2} = \frac{W}{2}\operatorname{cosec}\frac{\vartheta}{2} = 60 \times \frac{13}{5} = 156 \text{ тоннъ.}$$

Если извѣстенъ гидростатическій напоръ въ трубѣ, то осевое давленіе жидкости легко можетъ быть найдено, и сила, сжимающая или растягивающая арку, можетъ быть найдена совершенно такъ же, какъ и въ первыхъ двухъ примѣрахъ посредствомъ простого вычитанія.

Замѣтимъ, что въ частномъ случаѣ, если гидростатическій напоръ будетъ равенъ 396 футамъ (въ точкѣ B), осевое давленіе жидкости будетъ равно 156 тоннамъ и труба не будетъ давать распора у подошвъ арки. Это соотвѣтствуетъ вычисленію смѣшающей силы въ § 14, гдѣ мы нашли, что полная подымающая сила или вертикальная слагающая всѣхъ неуравновѣшенныхъ давленій жидкости, распредѣленныхъ по дугѣ BCD, выражается черезъ $2P\sin\frac{\vartheta}{2}$; въ нашемъ примѣрѣ сила $P = 156$ тоннъ и подымающая сила будетъ поэтому

$$2 \times 156 \times \frac{5}{13} = 120 \text{ тоннъ,}$$

т. е. какъ разъ вѣсъ моста.

Во всѣхъ предыдущихъ вычисленіяхъ мы не принимали во вниманіе сгибающихъ моментовъ, которые могли появиться вслѣдствіе измѣненій температуры, или вслѣдствіе начальныхъ напряженій при сборкѣ арокъ, или же вслѣдствіе послѣдующихъ деформацій подъ дѣйствіемъ перемѣщающихся по мосту грузовъ. Вычисленіе будетъ не полнымъ, если въ него не будутъ введены всѣ эти вліянія, но въ подробности входить здѣсь не будемъ.

§ 28. Уравновѣшенныя жидкія арки. — Трубчатыя арки, разсмотрѣнныя въ предыдущемъ параграфѣ, все таки не могутъ быть названы жидкими арками въ строгомъ смыслѣ слова ибо хотя въ нихъ давленіе жидкости внутри трубопровода и помогаетъ въ значительной степени сопротивленію металла трубы, уравновѣшивая собою бо́льшую часть дѣйствія нагрузки, тѣмъ не менѣе нагрузка не можетъ быть вполнѣ уравновѣшена одною жидкою аркою, такъ какъ давленіе жидкости p вездѣ одинаково (или почти одинаково), распоръ же арки измѣняется пропорціонально секансу угла наклона φ.

Но не трудно видѣть, что всегда возможно для *даннаго распредѣленія нагрузки* (возможно, по крайней мѣрѣ, въ теоріи) построить такую жидкую уравновѣшенную арку, которая *одна* будетъ нести на себѣ *всю* нагрузку, такъ что въ металлѣ трубы не будетъ никакихъ продольныхъ напряженій (никакихъ нормальныхъ напряженій въ поперечномъ сѣченіи трубы). Это можетъ быть достигнуто тѣмъ, что мы будемъ измѣнять величину силы P отъ сѣченія къ сѣченію такъ, чтобы она вездѣ точно равнялась бы величинѣ распора $H\sec\varphi$, и это проще всего можетъ быть достигнуто въ дѣйствительности путемъ надлежащаго измѣненія діаметра трубчатой арки, который необходимо будетъ постепенно увеличивать начиная отъ вершины къ краямъ (оконечностямъ, подошвамъ) арки.

Такъ, напримѣръ, если нагрузка будетъ равномѣрная, то параболическая кривая будетъ очевидно точною формою жидкой уравновѣшенной вполнѣ арки и если давленіе жидкости постоянно, то нужно только устроить трубчатую арку съ діаметрами, измѣняющимися по закону $d = d_0\sqrt{\sec\varphi}$, гдѣ d_0 означаетъ діаметръ трубы въ вершинѣ арки, а d — въ произвольномъ сѣченіи, гдѣ уголъ наклона арки есть φ.

Осевое давленіе жидкости въ вершинѣ арки будетъ $P_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot p$, а во всякой другой точкѣ оно будетъ равно $P = P_0 \cdot \sec\varphi$. Если теперь мы устроимъ такъ, что давленіе P_0 будетъ равно H, т. е. $= W\frac{L}{8D}$, то тогда во всѣхъ точкахъ арки распоръ C, получающійся вслѣдствіе нагрузки, будетъ совершенно точно уравновѣшиваться силою давленія жидкости P, и, слѣдовательно, сила $-Q$, дѣйствующая на поперечное сѣченіе самого металла арки, будетъ вездѣ тождественно равна нулю.

Напримѣръ, параболическая дуга, показанная на чер. 50, сдѣлается точной уравновѣшенной жидкой аркой, если трубѣ въ вершинѣ будетъ приданъ внутренній діаметръ въ 36 дюймовъ и если онъ будетъ постепенно увеличиваться по указанному сейчасъ закону до величины $36 \times \sqrt{1{,}077}$ дюйма у самой подошвы дуги, и если трубы будутъ наполнены жидкостію подъ постояннымъ напоромъ въ 381 футъ, нагрузка на арку въ 120 тоннъ будетъ поддерживаться исключительно однимъ только сопротивленіемъ жидкости, заключенной въ трубопроводѣ.

Если давленіе не абсолютно постоянно, а измѣняется вмѣстѣ съ высотою различныхъ точекъ, то не трудно ввести соотвѣтствующую поправку.

Параболическая трубчатая арка, расчитанная такимъ образомъ, будетъ, очевидно, уравновѣшенною жидкою аркою лишь для *одной единственной, вполнѣ опредѣленной нагрузки*—т. е. вся нагрузка будетъ выдерживаться исключительно лишь жидкимъ столбомъ, заключеннымъ внутри арки (не передаваясь на самый металлъ трубы) только въ томъ частномъ случаѣ, когда полная нагрузка будетъ равна вполнѣ опредѣленной величинѣ $W_0 = P_0 \cdot \frac{8D}{L}$; если же дѣйствительная нагрузка W на арку будетъ нѣсколько болѣе или менѣе, нежели эта спеціальная величина W_0, то разность $W - W_0$, которая будетъ распредѣлена также равномѣрно, будетъ передаваться уже на металлъ трубы, который и долженъ быть въ состояніи выдержать эту нагрузку.

Въ такомъ случаѣ сила, которая вызываетъ напряженія сжатія въ какомъ нибудь поперечномъ сѣченіи металлической трубы, будетъ равна

$$Q = C - P = (W - W_0)\frac{L}{8D} \cdot \sec\varphi \quad \ldots\ldots\ldots (62).$$

Если W будетъ *менѣе*, нежели W_0, то сила Q будетъ *отрицательна* и это значитъ, что въ поперечныхъ сѣченіяхъ металлической арки будутъ напряженія не на сжатіе, а на *растяженіе*, совершенно подобно тому, какъ въ параболическомъ висячемъ мостѣ.

Совершенно подобнымъ же образомъ мы можемъ разсуждать и при всякомъ другомъ распредѣленіи нагрузки, и найти для него форму уравновѣшенной жидкой арки. Можно изобрѣсти безчисленное множество такихъ жидкихъ арокъ, криволинейныхъ или же даже и многоугольныхъ, въ которыхъ стержни, наполненные внутри жидкостію подъ давленіемъ, могутъ отчасти быть избавлены отъ сжимающаго дѣйствія нагрузки тѣмъ, что часть нагрузки будетъ передана на жидкость.

Полезно упомянуть одинъ частный случай, могущій имѣть нѣкоторый интересъ, именно тотъ, когда нагрузка состоитъ только изъ вѣса самой жидкости, наполняющей трубу и изъ вѣса трубы (конечно, достаточно прочной, чтобы выдержать эту жидкость). Форму уравновѣшенной жидкой арки для этого случая не трудно найти; ее можно назвать *жидкою цѣпною линіей*. Построеніе такой кривой дѣлается въ особенности просто въ томъ случаѣ, если внутри трубы находится газъ, какъ напр., сжатый воздухъ *.

Вернемся, въ заключеніе, еще разъ къ нашей аркѣ, очерченной по дугѣ круга. Если внѣшнія силы, приложенныя къ нашей круговой дугѣ, будутъ состоять только изъ вертикальныхъ нагрузокъ, обусловленныхъ вѣсами и т. п., то такая арка будетъ аналогична разсмотрѣнной только что нами параболической аркѣ и можетъ быть изслѣдована подобнымъ же образомъ; и въ ней мы можемъ мѣнять внутренній діаметръ трубы пропорціонально $\sqrt{\sec\varphi}$; но, конечно, и помимо этого мы можемъ получить такую арку уравновѣшенною и при п о с т о я н н о м ъ діаметрѣ, именно, въ томъ случаѣ, если внѣшнія силы будутъ приложены къ ней не вертикально, а по р а д і а л ь н о м у направленію въ каждой точкѣ трубы, какъ разъ прямо противоположно направленіямъ неуравновѣшеннаго внутренняго давленія или смѣщающихъ силъ, которыхъ величина на единицѣ длины равна $n = \frac{P}{R}$. Если внѣшнее на трубу давленіе имѣетъ величину, равную на единицѣ длины тоже n, то наша круговая дуга будетъ въ этомъ случаѣ вполнѣ уравновѣшенною жидкою аркой, а если это давленіе будетъ вообще имѣть на единицѣ длины величину n_e, то разность $n_e - n$ будетъ, очевидно, представлять величину положительнаго или отрицательнаго нормальнаго давленія на единицѣ длины, которое должно быть воспринято самимъ металломъ трубы. Если наружное давленіе n_e *больше*, чѣмъ n, то неуравновѣшенное жидкостію давленіе $n_e - n$ можетъ быть воспринято металлическою дугою, если она *уперта* по концамъ въ опоры (достаточно неподатливыя), какъ при B и D на чер. 50; въ этомъ случаѣ сила, вызывающая напряженіе сжатія въ поперечномъ сѣченіи металлической арки, будетъ равна

$$Q = Rn_e - P \quad \ldots\ldots\ldots (63).$$

Съ другой стороны, если n_e м е н ь ш е, нежели n, то неуравновѣшенная давленіемъ жидкости подымающая сила (или смѣшающая) $n - n_e$ можетъ быть воспринята трубою въ видѣ р а с т я г и в а ю щ е й металлъ трубы силы, если арка у своихъ концовъ п р и т я н у т а къ опорамъ болтами, и величина растягивающей силы будетъ выражаться тою же формулою (63).

Наконецъ, если оконечности арки ни упираются въ устои, ни притянуты къ нимъ болтами, а лежать свободно въ скользящихъ расширителяхъ, подобно тому, какъ на чер. 44, то такая металлическая дуга не можетъ работать ни какъ сжимаемая арка, ни какъ растянутый кривой брусъ и въ такомъ случаѣ избыточное радіальное давленіе, каково бы ни было его направленіе, будетъ дѣйствовать на такую арку *какъ на балку*, подвергая ее *изгибу*. Будетъ ли разность $n_e - n$

---

* см. это построеніе въ § 36.

положительна или отрицательна, величина сгибающаго момента опредѣлится все равно по формуламъ § 18.

§ 29. Сводъ результатовъ.—Изъ сказаннаго видно, что мы должны имѣть въ виду при изслѣдованіи равновѣсія криволинейныхъ трубъ *четыре* рода силъ; силы эти слѣдующія:

1). Внѣшняя нагрузка W, или нормальное давленіе n,
2). Осевая сила давленія жидкости P,
3). Осевая сила въ металлѣ трубы Q,
4). Сопротивленіе трубы поперечному изгибу.

Если силы какихъ либо трехъ изъ этихъ родовъ извѣстны, то силы четвертаго рода могутъ быть вычислены.

Такъ напримѣръ, для криволинейной трубы чер. 44, если нѣтъ никакихъ упругихъ прогибовъ, мы имѣемъ соотношеніе

$$P + Q = Rn,$$

и если Q равно нулю, то $P = Rn$, откуда мы можемъ вычислить или давленіе p или радіусъ R, или же внѣшнюю нагрузку n, смотря по тому, какія величины намъ извѣстны.

4). Устойчивость линіи трубъ (цѣлаго трубопровода).

§ 30. Непрерывная линія трубъ, соединенныхъ на флянцахъ или склепаныхъ.—Какъ уже было замѣчено, смѣщающія силы, разсмотрѣнныя въ трехъ отдѣлахъ (1, 2 и 3) настоящей главы, появляются не всегда, а лишь при нѣкоторыхъ, особыхъ условіяхъ, и въ большинствѣ случаевъ дѣйствіе ихъ не проявляется въ видѣ замѣтнаго смѣщенія трубъ. Вслѣдствіе этого является необходимымъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ изслѣдовать—какія смѣшающія силы могутъ встрѣтиться и какъ на нихъ будутъ вліять условія, въ которыхъ будетъ работать трубопроводъ?

Если мы будемъ разсматривать самый металлъ трубы, независимо отъ ея жидкаго содержимаго, то мы должны считать, что к а ж д ы й безъ исключенія загибъ трубы, к а ж д о е колѣно подвергнутся дѣйствію неуравновѣшеннаго внутренняго давленія. Но мы видѣли, что стремленіе выпучиваться у прямой трубы и стремленіе изгибаться у кривой трубы обусловлены осевой эффективной силой $P + Q$, передающейся черезъ металлъ трубы и черезъ жидкость какъ черезъ одну цѣльную колонну; эти стремленія безусловно исчезаютъ въ томъ случаѣ, когда $P + Q =$ нулю или когда $Q = -P$.

Такимъ образомъ, если прямая труба AB, чер. 47, будетъ соединена съ колѣномъ при помощи обыкновеннаго соединенія на флянцахъ, то она, конечно, будетъ способна дѣйствовать какъ тяга, могущая сопротивляться дѣйствію силы H, направленной вдоль ея оси, и этимъ сопротивленіемъ можетъ совершенно избавить часть трубы BE отъ изгиба подъ дѣйствіемъ этой силы. Понятно, что прежде, чѣмъ въ трубѣ BE разовьется мало мальски большое напряженіе на изгибъ, для котораго потребовалось бы и значительное удлиненіе трубы AB, въ этой послѣдней разовьется уже столь значительное напряженіе на растяженіе, что оно уравновѣситъ или всю силу H или значительную ея часть. При этомъ въ растянутой трубѣ AB не будетъ никакого стремленія выпучиваться въ бокъ, и никакихъ дальнѣйшихъ деформацій, кромѣ сказаннаго растяженія трубы AB, не произойдетъ.

Изъ сказаннаго сейчасъ не трудно заключить, что въ *сплошномъ, непрерывномъ* трубопроводѣ, состоящемъ изъ отдѣльныхъ трубъ, склепаныхъ одна съ другой или соединенныхъ на флянцахъ, такъ что трубопроводъ образуетъ рядъ слѣдующихъ одна за другой прямыхъ частей и колѣнъ, въ самой разнообразной послѣдовательности, каждая отдѣльная часть его можетъ быть удержана въ равновѣсіи посредствомъ продольныхъ силъ, развивающихся въ трубопроводѣ и передающихся по всей длинѣ его черезъ прямыя части и черезъ колѣна, такъ что не будетъ никакихъ смѣщеній въ сторону.

Въ такомъ случаѣ заклепки въ поперечныхъ (круговыхъ) швахъ трубопровода должны быть настолько прочными, чтобы онѣ выдерживали продольную силу $Q = -P$, передающуюся по трубопроводу; если есть соединенія на флянцахъ, то болты ихъ должны быть настолько прочными, чтобы они выдерживали и силу первоначальной затяжки и прибавляющуюся къ ней нагрузку отъ дѣйствія продольной силы. При проэктированіи соединеній трубъ въ этомъ случаѣ полезно дать имъ и еще нѣкоторый запасъ прочности, имѣя въ виду вліяніе температуры на измѣненіе длины трубопровода.

Въ практикѣ линія трубопровода не всегда строится въ видѣ такого сплошного трубопровода; бываютъ и другія расположенія, о которыхъ теперь и будемъ говорить.

§ 31. Трубопроводъ со скользящими расширителями.—Какъ извѣстно, такіе расширители вставляются въ трубопроводъ для того, чтобы избѣжать въ немъ сильныхъ напряженій вслѣдствіе измѣненія его длины подъ вліяніемъ перемѣнной температуры. Въ этомъ случаѣ мы никогда не должны забывать, что вводя такіе расширители мы теряемъ способность трубопровода—передавать черезъ себя продольныя силы, которыя бываютъ иногда въ сотни тоннъ; мы, такъ сказать, *перерѣзаемъ* трубопроводъ пополамъ: въ этомъ случаѣ продольныя силы передаются вдоль трубопровода черезъ колонну жидкости и производятъ во всѣхъ колѣнахъ и поворотахъ вырывающія силы, а въ прямыхъ частяхъ вызываютъ стремленіе выгибаться въ сторону, о чемъ говорилось ранѣе. Поэтому, въ такомъ случаѣ *перерѣзаннаго* трубопровода необходимо въ каждомъ колѣнѣ воспринять или уравновѣсить смѣщающую силу однимъ изъ двухъ способовъ: именно: или мы можемъ приложить къ колѣну извнѣ равномѣрно распредѣленное по всей его длинѣ давленіе n_e, равное и противоположное въ каждой точкѣ длины смѣшающему давленію n, вычисленному въ §§ 13, 14 и 15; или же мы можемъ воспользоваться прочностію трубы на изгибъ и заставить ее работать какъ балку, прикрѣпивъ одинъ ея конецъ къ какой нибудь солидной опорѣ, способной выдержать силы и моменты, передаваемые ей прикрѣпленнымъ къ ней колѣномъ. Эти силы и моменты вычислены нами въ §§ 18 и 19. Если же опора окажется недостаточно солидной, то ее надо въ свою очередь усилить до потребной прочности.

§ 32. Трубопроводъ изъ трубъ, соединенныхъ раструбами.—Къ подобному трубопроводу приложить полученные нами до сихъ поръ результаты является довольно труднымъ въ виду полной неизвѣстности относительно сопротивленій, которыя способны раструбныя соединенія оказывать дѣйствію вырывающей ихъ продольной или осевой силы, и сгибающимъ или поперечнымъ силамъ, дѣйствующимъ на трубопроводъ.

Относительно этихъ послѣднихъ, т. е. поперечныхъ силъ, мы еще можемъ съ достаточною достовѣрностію принять, что имъ соединеніе раструбомъ совершенно неспособно сопротивляться, ибо между задкомъ одной трубы и раструбомъ другой лежитъ слой плетенки или подобной мягкой набивки и свинцовое кольцо, и, разумѣется, эти детали не могутъ оказать сколько нибудь значительнаго сопротивленію наклоненію оси одной трубы къ другой.

Что касается сопротивленія продольнымъ силамъ, то ихъ дѣйствію свинцовыя кольца оказываютъ нѣкоторое сопротивленіе, хотя, можетъ быть, и не особенно сильное. Но такъ какъ въ большинствѣ случаевъ трубопроводъ съ раструбными соединеніями лежитъ подъ землею, то давленіе окружающаго трубу грунта можетъ оказывать нѣкоторую помощь сопротивленію свинцовыхъ колецъ.

Наиболѣе невыгоднымъ въ этомъ смыслѣ расположеніемъ трубопровода будетъ тотъ случай, когда ось колѣна или загиба лежитъ въ вертикальной плоскости; въ этомъ случаѣ утрамбовать грунта кругомъ колѣна, какъ то можно сдѣлать, если ось его лежитъ въ горизонтальной плоскости, хорошо нельзя и давленіе грунта на колѣно будетъ здѣсь равняться только вѣсу земли, лежащей на самомъ колѣнѣ сверху. Если w' будетъ вѣсъ этого заполненія на единицѣ длины, а w'' вѣсъ единицы длины трубы съ жидкостію, то полная нагрузка на единицѣ длины будетъ $w=w'+w''$ и въ этомъ случаѣ останется вдоль трубопровода неуравновѣшенною сила, приблизительно равная

$$Q = P - Rw \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (64),$$

которая, вообще говоря, можетъ конечно, при удачномъ условіяхъ обратиться и въ нуль.

Наоборотъ, если мы можемъ располагать какими нибудь обстоятельствами (напр. глубиною), то мы можемъ по ур. (64) вычислить, какова должна быть величина Rw для того, чтобы остающаяся неуравновѣшенною продольная сила не превзошла бы нѣкотораго желаемаго предѣла Q_f, именно

$$Rw = P - Q_f \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (65).$$

Если мы располагаемъ глубиною заложенія трубъ или удѣльнымъ вѣсомъ матеріала заполненія, то мы отсюда вычислимъ w; если отъ насъ зависятъ размѣры трубы, то мы можемъ тогда вычислить, наоборотъ, такой радіусъ колѣна R, который удовлетворитъ нашему условію, именно

$$R = \frac{P - Q}{w}.$$

Что касается сопротивленія свинцовыхъ швовъ раструбовъ вырыванію, то этотъ вопросъ заслуживаетъ гораздо бо́льшаго вниманія, чѣмъ ему до сихъ поръ удѣляли, ибо во многихъ случаяхъ практики сила Q бываетъ очень велика. Профессоръ *T. Claxton Fidler* произвелъ въ послѣднее время въ Лабораторіи Университетской Коллегіи въ *Dundee* нѣсколько въ высшей степени любопытныхъ опытовъ съ этими соединеніями и это является пока единственнымъ источникомъ нашихъ свѣдѣній о сказанномъ сопротивленіи.

Объ этихъ опытахъ говорится далѣе, въ этой же главѣ.

Въ томъ случаѣ, когда раструбное соединеніе выполнено съ конической приточкой (напр. какъ на табл. 68 Атласа, фиг. 2), можно полагать, что оно обладаетъ нѣкоторою способностію сопротивляться поперечнымъ силамъ, что же касается продольныхъ силъ, то въ этомъ случаѣ раструбное соединеніе можно считать совершенно не способнымъ сопротивляться вырыванію и при немъ вся вырывающая сила должна быть уравновѣшена исключительно давленіемъ земли.

Наконецъ, слѣдуетъ замѣтить, что въ томъ случаѣ, если трубопроводъ съ раструбами идетъ не въ землѣ, а на свободѣ, смѣщающія силы можно уравновѣсить также и при помощи скрѣпленія колѣнъ съ какими нибудь опорами, способными выдержать дѣйствіе этихъ смѣщающихъ силъ, какъ объ этомъ сказано и раньше.

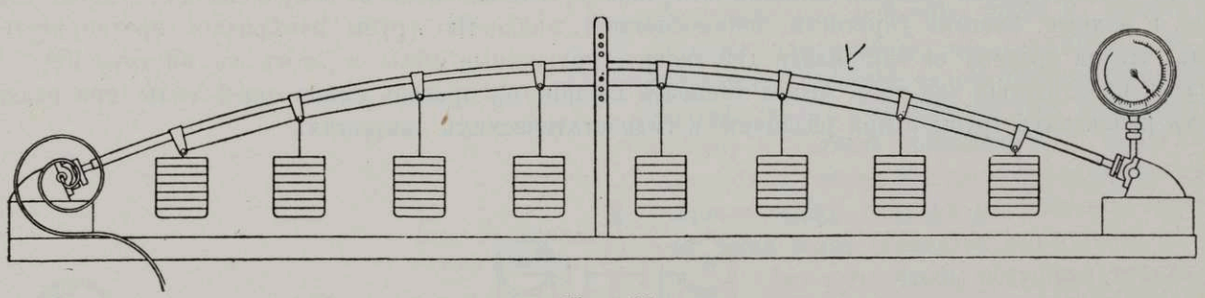
5). Экспериментальное опредѣленіе смѣщающихъ силъ.

§ 33. Уравновѣшенная жидкая арка или вертикальное колѣно. — Приводимые здѣсь опыты составляютъ часть программы работъ въ Механической Лабораторіи Университетской Коллегіи въ Dundee.

Трубчатая арка была изготовлена какъ можно тщательнѣе въ видѣ дуги круга, радіусъ котораго равнялся 13 футамъ; пролетъ арки былъ сдѣланъ равнымъ 10 футамъ, а стрѣлка или подъемъ ея была равна одному футу. Трубы были или стальныя тянутыя, или же изъ красной мѣди. Мѣдная труба имѣла внутренній діаметръ въ 1 дюймъ и имѣла на каждомъ концѣ по скользящему расширителю, наружная часть котораго была на каждомъ концѣ выполнена въ видѣ короткаго бронзоваго цилиндра, могущаго качаться на своихъ шипахъ, такъ что цилиндры эти могли свободно устанавливаться сообразно наклону концовъ трубы.

Для того, чтобы воспрепятствовать мѣдной трубѣ принять на себя какую нибудь часть нагрузки, работая подобно аркѣ, скользящіе въ сальникахъ концы трубъ были обточены такимъ образомъ, что ихъ наружный діаметръ равнялся какъ разъ одному дюйму, т. е. какъ разъ внутреннему діаметру трубы; благодаря этому, труба на всей своей длинѣ была совершеннно избавлена отъ какого бы то ни было продольнаго усилія, обусловленнаго давленіемъ жидкости. Нѣкоторое продольное усиліе на трубу все таки дѣйствовало, но уже благодаря тренію въ скользящихъ расширителяхъ; дѣйствіе это можетъ быть направлено по временамъ то въ одну, то въ другую сторону, и вліяніе его можно исключить измѣряя величину этой силы въ томъ и другомъ направленіи.

Такъ какъ металлъ трубы не подвергался никакой продольной нагрузкѣ, то, какъ бы ни была велика нагрузка на арку, арка не должна была показывать никакого прогиба, никакой упругой деформаціи, обусловленной сжимающими ее силами, ибо такихъ силъ не было.



Чер. 51.

Въ высшей точкѣ арки ей была предоставлена полная свобода подыматься или опускаться между двумя направляющими брусками, какъ видно на чер. 51; сквозь эти бруски можно было просунуть задерживающіе штифтики, для того, чтобы ограничить прогибъ арки какъ вверхъ, такъ и внизъ.

Нагрузка, приложенная къ аркѣ, состояла изъ ряда радіально направленныхъ скобъ или хомутовъ, размѣщенныхъ вдоль арки на равныхъ разстояніяхъ; съ каждой скобы виситъ прутъ, на который кладутся грузы; каждая скоба удерживается въ радіальномъ направленіи при помощи особой проволоки; на стержни накладывается столько груза, чтобы на каждую скобу по радіальному направленію дѣйствовала бы одна и та же сила.

Вода впускается въ арку сквозь пустотѣлый шипъ одного изъ цилиндровъ скользящаго расширителя при посредствѣ гибкой мѣдной трубы; вода эта подъ давленіемъ доставляется изъ гидравлическаго цилиндра разрывной машины Wicksteed'a. Давленіе воды измѣняли, измѣняя нагрузку на машину; величина давленія измѣряется при помощи спеціальнаго манометра Шефера и Буденберга, поставленнаго на другомъ цилиндрѣ скользящаго расширителя.

Для того, чтобы убѣдиться, что арка дѣйствительно не несетъ никакого продольнаго распора, тщательно измѣряли форму арки передъ тѣмъ, какъ ее нагрузить и замѣчали положеніе ея вершины на вертикальныхъ направляющихъ, отмѣчая это положеніе знакомъ „*нуль*“, такъ что послѣ этого непосредственно можно было отсчитывать прогибы какъ вверхъ такъ и внизъ. Такъ

какъ при предварительныхъ опытахъ оказалось, что при осевой силѣ вдоль арки, равной 23 фунтамъ, вершина арки давала прогибъ въ 1 дюймъ, и такъ какъ при описываемомъ опытѣ замѣченъ былъ прогибъ арки всего лишь около одной сороковой дюйма, то изъ этого видно, что при опытѣ на трубу передавалась сила менѣе одного фунта, такъ что практически можно считать, что вся нагрузка воспринималась исключительно одной лишь жидкой аркой, не передаваясь на металлъ.

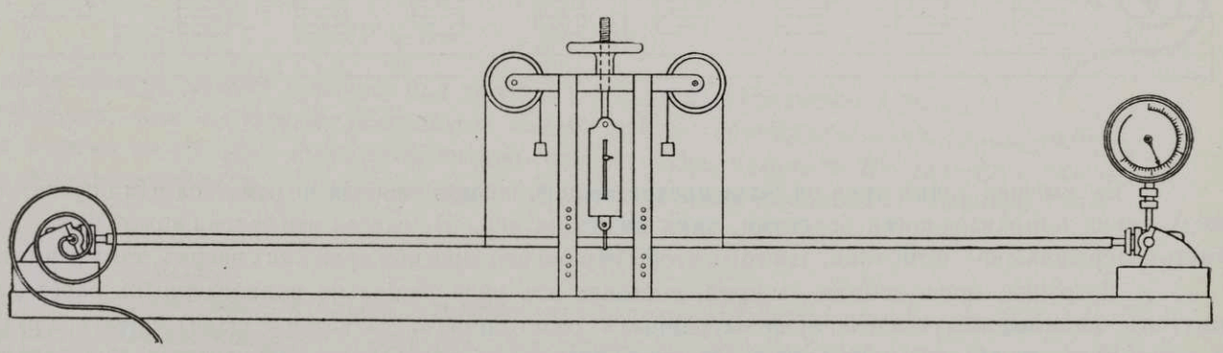
Опыты, произведенные въ Сентябрѣ 1896 года, дали слѣдующіе результаты:

	№ 1.	№ 2.	№ 3.
Радіальная нагрузка n_1 въ фунтахъ на одинъ погонный футъ пролета арки	21,25	42,5	63,75
Соотвѣтствующая этому нагрузка подвѣшенными грузами на весь сегментъ, въ фунтахъ	229	458	687
Соотвѣтствующая равномѣрно распредѣленная нагрузка для параболической арки, въ фунтахъ . .	220	440	660
Гидростатическое давленіе въ фунтахъ на квадратный дюймъ	350	700	1080
Наблюдавшійся прогибъ	нуль	нуль	нуль

Въ каждомъ изъ этихъ трехъ случаевъ нагрузка уравновѣшивалась исключительно одной лишь жидкой аркой, т. е. давленіемъ жидкости; но различныя нагрузки были выбраны для того, чтобы видѣть различные случаи равновѣсія и различный характеръ сопротивленія упругой арки, о чемъ было сказано ранѣе.

§ 34. Экспериментальное изслѣдованіе выпучиванія длинной прямой трубы. — Для иллюстраціи этого явленія на опытѣ брались трубы или стальныя тянутыя или же мѣдныя и всѣ старанія были приложены къ тому, чтобы первоначальная ось трубы, когда труба не нагружена, представляла бы изъ себя по возможности прямую линію. И здѣсь, какъ и въ предыдущихъ опытахъ, бронзовые цилиндры служили для концовъ трубы сальниками, въ которыхъ эти концы могли скользить съ возможно малымъ треніемъ, причемъ сама труба была расположена горизонтально (чер. 52). Цилиндры и здѣсь могли свободно качаться на своихъ шипахъ, такъ что труба могла свободно прогибаться въ вертикальной плоскости и была, такимъ образомъ, поставлена въ условія, аналогичныя тѣмъ, въ которыхъ находится сжимаемая колонна, концы которой могутъ свободно поворачиваться. Вѣсъ трубы, какъ порожней, такъ и наполненной жидкостію, во всѣхъ случаяхъ тщательно уравновѣшивался.

Длина трубы отъ шипа до шипа составляла 10 футъ. Прогибъ по вертикальному направленію ограничивался задерживающими штифтиками, вставляемыми въ направляющія, подобно тому, какъ и раньше. Степень упругости ненаполненной жидкостію трубы измѣрялась предварительно тѣмъ, что на средину ея заставляли дѣйствовать пружинные вѣсы и [этотъ же инструментъ служилъ и впослѣдствіи для того, чтобы узнавать вліяніе на прогибъ смѣщающей силы при различныхъ кривизнахъ трубы и при различныхъ гидростатическихъ давленіяхъ.



Чер. 52.

У мѣдной трубы внутренній діаметръ ея совершенно точно равнялся внутреннему діаметру расточенной части грундъ-буксы сальника, т. е. одному дюйму, такъ что металлъ арки не подвергался никакой сжимающей силѣ и выпучиваніе въ бокъ обусловливалось, такимъ образомъ, исключительно боковой смѣщающей силой жидкой колонны.

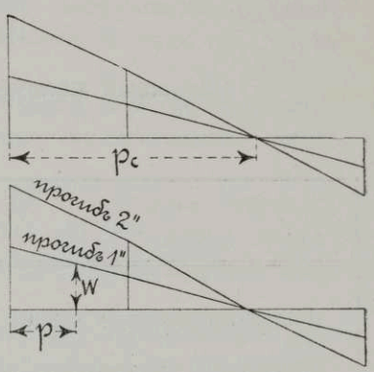
Наружный діаметръ былъ равенъ 1,17 дюйма, такъ что моментъ инерціи, въ дюймахъ, былъ равенъ приблизительно 0,043; но этой вычисленной величиной не пользовались, а моментъ инерціи, или, вѣрнѣе, количество EI было опредѣлено опытнымъ путемъ, посредствомъ измѣренія прогиба при извѣстной поперечной нагрузкѣ, произведенной при помощи пружинныхъ вѣсовъ.

Согласно извѣстной формулѣ теоріи Сопротивленія Матеріаловъ упругій брусъ, при про-

летѣ въ 120 дюймовъ, даетъ, при дѣйствіи сосредоточенной нагрузки W, приложенной на срединѣ длины, прогибъ равный $\frac{36000 \cdot W}{EI}$; при опытѣ съ пружинными вѣсами при нагрузкѣ въ 22 фунта былъ найденъ прогибъ равный 1 дюйму; изъ этого слѣдуетъ, что $EI = 792000$. При помощи этой величины EI не трудно затѣмъ уже было вычислить и выраженіе $\pi^2 \frac{EI}{l^2}$, которое входитъ въ теоретическое выраженіе осевой наименьшей силы, которая въ состояніи уже вызвать боковое выпучиваніе трубы; такимъ образомъ, наименьшее опасное или критическое гидростатическое давленіе, равное $\frac{4\pi EI}{l^2 d^2}$, было найдено равнымъ 691 фунту на квадратный дюймъ.

Послѣ того, какъ эти вычисленія были предварительно сдѣланы, труба была подвергнута гидростатическому давленію, равному 690 фунтамъ на квадратный дюймъ, и оказалось, что она въ этотъ моментъ дѣйствительно была въ состояніи безразличнаго равновѣсія, характеризующаго состояніе упругой колонны въ тотъ моментъ, когда нагрузка на нее достигаетъ критической величины.

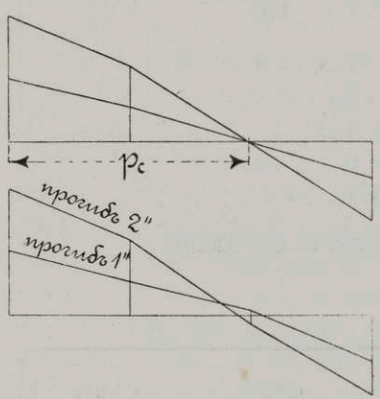
Чер. 53bis.



Чер. 53 (*мѣдная* труба).

Въ этотъ моментъ смѣщающая сила какъ разъ достаточна для того, чтобы уравновѣсить упругое сопротивленіе матеріала трубы, все равно, будетъ ли въ это время прогибъ великъ или незначителенъ, конечно, внутри умѣренныхъ предѣловъ. Для того, чтобы вызвать боковой прогибъ въ 1 дюймъ или въ 2 дюйма, все равно, теоретически не требуется никакой боковой (поперечной) силы и если бы для этой цѣли мы употребили бы пружинные вѣсы, то они показали бы настолько малую силу, что трудно было бы сдѣлать по нимъ отсчетъ. Но и для того, чтобы вернуть трубу въ первоначальное прямое состояніе, если она получила прогибъ (боковой) въ одинъ или два дюйма, тоже не требуется теоретически никакой боковой силы, такъ что, слѣдовательно, мы можемъ сказать, что не требуется никакой боковой силы для того, чтобы воспрепятствовать трубѣ выгибаться въ бокъ. Такимъ образомъ, труба не будетъ имѣть никакого стремленія выходить изъ какого бы то ни было своего состоянія равновѣсія, будетъ ли она прямою или изогнутою, если она разъ была приведена въ такое состояніе; слѣдовательно, одного тренія сальниковъ на концахъ трубы съ избыткомъ будетъ достаточно для того, чтобы воспрепятствовать движенію трубы въ какомъ бы то ни было направленіи. Но, очевидно, что когда критическое давленіе будетъ превзойдено, то труба очутится въ неустойчивомъ состояніи равновѣсія и должна подвергнуться выпучиванію, если только этому мы не воспрепятствуемъ приложивши извнѣ силу въ направленіи, обратномъ тому, куда труба стремится изогнуться.

Чер. 54bis.



Чер. 54 (*стальная* труба).

Для того, чтобы возможно точнѣе измѣрить величину критическаго давленія, гидростатическое давленіе было сначала уменьшено до величины въ 345 фунтовъ а затѣмъ увеличено втрое противъ этой величины. Положительныя и отрицательныя силы, которыя необходимо было приложить для того, чтобы уравновѣсить трубу при этихъ давленіяхъ, были измѣрены при помощи пружинныхъ вѣсовъ, нагрузка отъ которыхъ прикладывалась къ трубѣ по такому направленію, чтобы она помогала смѣщающей силѣ въ томъ случаѣ, когда эта послѣдняя была недостаточна, и чтобы она противодѣйствовала ей въ томъ случаѣ, когда смѣщающая сила была болѣе чѣмъ достаточна для того, чтобы уравновѣсить упругое сопротивленіе трубы. Отсчеты дѣлались при прогибахъ въ 1 дюймъ и въ 2 дюйма; для каждаго прогиба наблюдаемое давленіе и показанія вѣсовъ (или нагрузка) откладывались какъ координаты на діаграммѣ, приведенной на чер. 53. Какъ видно, эта діаграмма представляетъ и при прогибѣ въ 1 дюймъ и при прогибѣ въ 2 дюйма почти прямую линію, пересѣкающую основаніе въ нѣкоторой точкѣ, которая и служитъ для опредѣленія величины критическаго давленія p_c, причемъ такое опредѣленіе выходитъ нѣсколько точнѣе, нежели непосредственное измѣреніе критическаго давленія манометромъ.

Именно, пренебрегая нѣкоторою разницею въ діаграммахъ для прогибовъ въ одинъ дюймъ и въ два дюйма (какъ видно на чер. 53 и 54, точки пересѣченія съ горизонтальною осію не совпадаютъ въ одну, въ особенности на діаграммахъ для стальной трубы, чер. 54), разравниваютъ

эту ошибку на обѣ кривыя и считаютъ, что та общая точка, гдѣ послѣ этого обѣ кривыя пересѣкутъ ось, и будетъ давать длину горизонтальной абсциссы, равной критическому давленію p_c. Для мѣдной трубы эта разница не велика, для стальной же болѣе замѣтна. У самого автора (Фидлера) мѣсто это изложено чрезвычайно туманно и для ясности я прибавилъ къ приближеннымъ діаграммамъ (чер. 53 bis и 54 bis), имѣющимся у Фидлера, еще и точныя (чер. 53 и 54), на которыхъ точно отложены результаты опытовъ и видно несовпаденіе точекъ пересѣченія, о чемъ Фидлеръ не говоритъ ни слова.

Ординаты діаграммы на отрицательной сторонѣ, взятыя для различныхъ прогибовъ при одномъ и томъ же давленіи, служатъ иллюстраціей того факта, что если вообще гидростатическое давленіе болѣе нежели p_c, то внѣшняя сила, которую необходимо приложить для того, чтобы воспрепятствовать дальнѣйшему возрастанію прогиба, сама пропорціональна величинѣ прогиба въ разсматриваемый моментъ и если труба все время прогибается, то сила эта должна непрерывно увеличиваться.

Наблюденія дали слѣдующіе результаты:

МѢДНАЯ труба (Сентябрь, 1896 годъ).

Наружный діаметръ трубы = 1,17 дюйма; внутренній діаметръ = 1,00 дюйма.

Прогибъ по срединѣ равенъ одному дюйму.

	фунт.	фунт.	фунт.	фунт.
Гидростатическое давленіе	0	345	690	1035
Показаніе пружинныхъ вѣсовъ	+ 22,3	+ 11,5	0	— 10

Прогибъ по срединѣ равенъ двумъ дюймамъ.

	фунт.	фунт.	фунт.	фунт.
Гидростатическое давленіе	0	345	690	1035
Показаніе пружинныхъ вѣсовъ	+ 43,8	+ 24	0	— 20

СТАЛЬНАЯ труба (Январь 5, 1897 годъ).

Наружный діаметръ трубы = 1,00 дюйма; внутренній діаметръ = 0,9 дюйма.

Прогибъ по срединѣ равенъ одному дюйму.

	фунт.	фунт.	фунт.	фунт.
Гидростатическое давленіе	0	180	360	540
Показаніе пружинныхъ вѣсовъ	+ 11,25	+ 6	+ 1	— 8

Прогибъ по срединѣ равенъ двумъ дюймамъ.

	фунт.	фунт.	фунт.	фунт.
Гидростатическое давленіе	0	180	360	540
Показаніе пружинныхъ вѣсовъ	+ 22,1	+ 13,1	— 1,5	— 13,7

Можно было бы получить и болѣе точные результаты, если бы вмѣсто опоръ въ цилиндрахъ были бы примѣнены опоры на призмахъ. Полученные пока результаты не столь точны, чтобы служить прямымъ опытнымъ доказательствомъ высказанныхъ ранѣе теоремъ, но они все таки вполнѣ достаточны для того, чтобы у учащихся развилось ясное представленіе объ характерѣ дѣйствія силъ въ разсматриваемомъ случаѣ и являются поэтому достаточно вѣрнымъ подтвержденіемъ теоремъ, высказанныхъ раньше.

§ 35. Выпучиваніе жидкой арки. — Если трубчатая арка точно уравновѣшена подъ дѣйствіемъ, во первыхъ внѣшней нагрузки n_e, дѣйствующей по нормалямъ, и во вторыхъ, равной и противоположной силы n, равномѣрно распредѣленной по сегменту арки, то упругость матеріала трубы сопротивляется выгибу въ вершинѣ, какъ вверхъ, такъ и внизъ.

Если это упругое сопротивленіе, вызываемое даннымъ прогибомъ, будетъ измѣряться при помощи приложенной по срединѣ длины силы W, получаемой, напримѣръ, посредствомъ пружинныхъ вѣсовъ, или же будетъ выражаться въ видѣ равномѣрно распредѣленной силы n_1, то это сопротивленіе будетъ почти пропорціонально вертикальному прогибу δ.

Для какого нибудь прогиба, или для даннаго увеличенія Δh подъема (или стрѣлки) арки считаемаго отъ ея хорды, мы можемъ найти соотвѣтствующее приращеніе Δn смѣщающей силы, получающееся вслѣдствіе увеличенія кривизны арки.

Если упругое сопротивленіе n_1 будетъ болѣе, нежели приращеніе Δn, то арка будетъ въ устойчивомъ состояніи равновѣсія, и вершина ея придетъ опять на нулевую мѣтку направляющихъ брусковъ, возвращаясь всегда въ то положеніе, изъ котораго въ данный моментъ арка была выведена.

Но если приращеніе Δn (все равно, будетъ ли оно положительно или отрицательно) окажется болѣе, чѣмъ n_1, въ то время какъ n_e остается постояннымъ, то арка будетъ въ неустойчивомъ состояніи равновѣсія и будетъ имѣть стремленіе удаляться все болѣе и болѣе отъ нулевой мѣтки на направляющихъ брускахъ, и стремленіе это будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ далѣе арка прогибается; если мы пожелаемъ остановить ея прогибъ, то мы будемъ въ состояніи сдѣлать это лишь задержавъ арку при помощи штифтиковъ. Это явленіе и есть выпучиваніе арки въ вертикальной плоскости, при которомъ арка стремится выйти изъ положенія, въ которомъ она была въ равновѣсіи, такъ что длина ея стремится измѣниться по сравненію съ той свободной длиной, которую она имѣла во время равновѣсія.

Приращеніе Δn въ свою очередь пропорціонально гидростатическому давленію p и, слѣдовательно, равновѣсіе дѣлается неустойчивымъ какъ скоро p превосходитъ нѣкоторую предѣльную величину p_e.

Три условія равновѣсія иллюстрированы тремя приведенными выше опытами. При нагрузкѣ въ 64 фунта на одинъ футъ длины арка находится въ равновѣсіи при давленіи около 1080 фунтовъ на квадратный дюймъ, но равновѣсіе это неустойчиво, въ указанномъ выше смыслѣ.

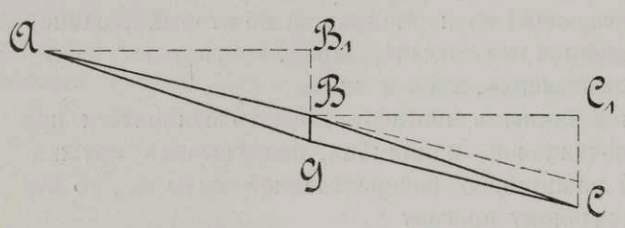
При нагрузкѣ въ 42 фунта на одинъ футъ длины арка находится въ равновѣсіи при давленіи около 700 фунтовъ на квадратный дюймъ и равновѣсіе это весьма близко къ состоянію безразличнаго равновѣсія; если давленіе увеличивать до величины 750 фунтовъ на квадратный дюймъ, то арка съ подвѣшеннымъ къ ней грузомъ непрерывно подымается до тѣхъ поръ, пока оконечности ея не вылѣзутъ изъ своихъ сальниковъ.

Слѣдуетъ пояснить здѣсь, что нагрузки, данныя на стр. 79 и 80 какъ *„соотвѣтствующія нагрузки на весь сегментъ“* или какъ *„равномѣрно-распредѣленныя нагрузки для параболической арки“*, суть такія распредѣленныя нагрузки, которыя дали бы **тотъ же самый горизонтальный распоръ** въ вершинѣ арки, который въ дѣйствительности даютъ приложенныя на самомъ дѣлѣ къ аркѣ радіальныя силы. Такимъ образомъ, эта „соотвѣтствующая“ или „эквивалентная нагрузка“ эквивалентна распредѣленной радіальной нагрузкѣ не во всѣхъ отношеніяхъ, а лишь въ одномъ только указанномъ сейчасъ смыслѣ.

6). Жидкая цѣпная линія.

§ 36. Въ § 28 уже было указано, что когда матеріалъ арки состоитъ, собственно, изъ жидкости, находящейся подъ постояннымъ давленіемъ, такъ что въ этомъ случаѣ вся нагрузка на арку воспринимается жидкою аркою, и нисколько не передается на окружающія эту жидкость металлическія стѣнки трубы, то площадь поперечнаго сѣченія внутренности трубы должна въ каждомъ поперечномъ сѣченіи ея быть пропорціональной секансу угла ϑ. Изъ этого слѣдуетъ, что вѣсъ жидкой арки на единицу длины дуги долженъ быть также пропорціоналенъ секансу угла ϑ, а вѣсъ жидкой арки на единицу длины горизонтальной хорды (x) будетъ пропорціоналенъ $\sec^2\vartheta$ или выраженію $1 + tg^2\vartheta$.

Изъ этого слѣдуетъ, что внутренній діаметръ трубчатой арки d будетъ въ каждомъ поперечномъ сѣченіи пропорціоналенъ $\sqrt{sec\vartheta}$ и если труба построена такимъ образомъ, что напряженіе въ стѣнкѣ ея на разрывъ по образующей имѣетъ опредѣленную величину z фунтовъ на □ дюймъ, то толщина стѣнки вездѣ будетъ пропорціональна діаметру, т. е. величинѣ $\sqrt{sec\vartheta}$. Если мы предположимъ, что толщина стѣнки незначительна по сравненію съ діаметромъ, то вѣсъ трубы на единицу длины *арки* будетъ приблизительно пропорціоналенъ окружности πd, умноженной на толщину, и слѣдовательно, будетъ пропорціоналенъ $sec\vartheta$, такъ что нагрузка на единицу длины горизонтальной хорды, обусловленная этой силою, отъ вѣса трубы, будетъ пропорціональна величинѣ $sec^2\vartheta$. Такимъ образомъ, и нагрузка отъ вѣса жидкости и нагрузка отъ собственнаго вѣса трубы, отнесенныя къ единицѣ длины горизонтальной хорды (пролета), обѣ пропорціональны величинѣ $sec^2\vartheta$; слѣдовательно, и полная нагрузка на единицу длины пролета будетъ пропорціональна $sec^2\vartheta$ и этимъ опредѣляется форма арки.



Чер. 55.

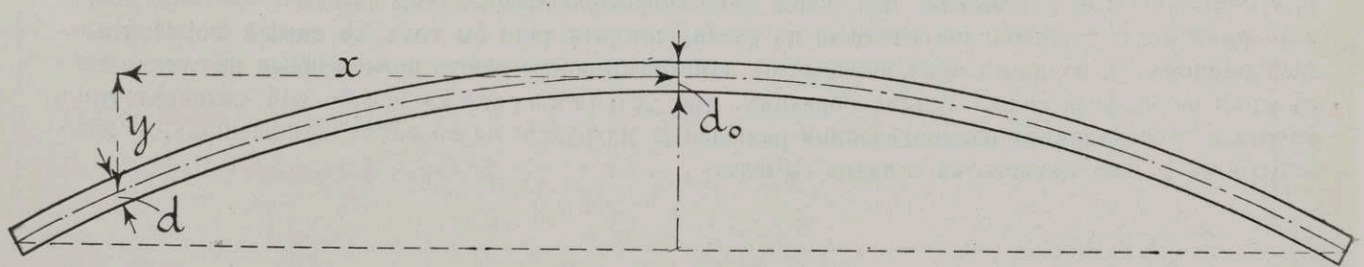
Если бы наша арка была образована изъ ряда весьма короткихъ (въ предѣлѣ: безконечно-короткихъ) прямыхъ частей, изъ которыхъ каждая имѣетъ на всей своей длинѣ постоянное поперечное сѣченіе, измѣняющееся отъ части къ части, такъ что каждая отдѣльная часть есть цилиндръ съ безконечно-малой длиной, и если на чер. 55 прямыя AB и BC суть оси двухъ такихъ смежныхъ весьма короткихъ прямыхъ элементовъ, имѣющихъ наклоны ϑ_1 и ϑ_2, то вертикальная сила BG въ параллелограммѣ силъ $ABCG$ можетъ быть принята равной половинѣ вѣса трубы AB плюсъ половина вѣса трубы BC; въ той же діаграммѣ силъ, AB_1 или BC_1 представляетъ горизонтальный распоръ въ вершинѣ, а AB—наклонный распоръ у перваго изъ начерченныхъ здѣсь элементовъ.

Если возьмемъ такіе элементы, что у каждаго изъ нихъ горизонтальная проэкція будетъ постоянная величина, такъ что $AB_1 = BC_1 = \Delta x$, то изъ этого слѣдуетъ, что вѣсъ каждой элементарной трубы будетъ пропорціоналенъ $\Delta x.sec^2\vartheta$, и въ каждой вершинѣ многоугольника вертикальная слагающая BG будетъ пропорціональна среднему арифметическому изъ квадратовъ AB и BC.

Кривая, которая получится, будетъ одинакова съ кривой равновѣсія цѣпи, укрѣпленной обоими концами и нагруженной только собственнымъ вѣсомъ, у которой звенья сдѣланы, однако, не одинаковаго поперечнаго сѣченія, а имѣютъ форму весьма короткихъ тѣлъ равной крѣпости на разрывъ, такъ что сѣченіе въ каждомъ мѣстѣ пропорціонально нагрузкѣ.

Это ясно изъ того, что въ аркѣ, построенной въ нашихъ предположеніяхъ, вѣсъ w на единицу длины арки всегда пропорціоналенъ прямому распору S, такъ что $S = mw$, гдѣ m есть постоянный множитель.

Если труба будетъ нагружена гидростатическимъ давленіемъ, то вѣсъ воды будетъ, почти всегда, составлять главную долю полнаго вѣса w, и множитель m будетъ измѣняться въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ въ зависимости отъ діаметра d, давленія p и допускаемаго напряженія z. Если же въ трубѣ будетъ течь не капельная жидкость, а сжатый воздухъ или другой газъ, то вѣсъ этого газа будетъ незначителенъ по сравненію съ собственнымъ вѣсомъ трубы, такъ что въ этомъ слу-



Чер. 56.

чаѣ можно m считать величиной, независящей отъ d и отъ p, а зависящей лишь только отъ одного напряженія z.

Въ этомъ послѣднемъ случаѣ кривая будетъ имѣть видъ, опредѣляемый уравненіемъ

$$y = m.\log_{hip}\left(\sec\frac{x}{m}\right)^{*},$$

* гдѣ log_{hip} означаетъ *Неперовъ* или *гиперболическій* логарифмъ.

въ которомъ x и y суть координаты, видимыя на чер. 56, а m есть радіусъ кривизны въ вершинѣ кривой.

Такъ, если мы для стальной трубы примемъ постоянное допускаемое напряженіе z въ 6 тоннъ на квадратный дюймъ, то толщина ея стѣнки въ дюймахъ по формулѣ Маріотта будетъ

$$\frac{d \cdot p}{12 \times 2240}$$

и такъ какъ вѣсъ одного квадратнаго дюйма поперечнаго сѣченія на футъ длины будетъ около 3,36 фунта, то вѣсъ трубы на футъ длины будетъ выражаться черезъ

$$\frac{3{,}36 \cdot \pi d^2 p}{12 \times 2240},$$

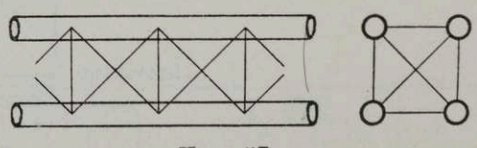
что равно $\frac{1}{2000}$ нагрузки S, которая равна, какъ мы знаемъ, $\frac{\pi d^2}{4} \cdot p$. Такимъ образомъ, для стальной трубы форма уравновѣшенной арки будетъ въ вершинѣ имѣть радіусъ кривизны около 2000 футъ.

Къ этому вѣсу мы должны прибавить, однако, еще около 7% какъ вѣсъ воздуха, находящагося въ трубѣ при данномъ давленіи p; если затѣмъ мы прибавимъ на глазъ еще 53% на вѣсъ скрѣпленій и соединеній и т. п. (включая сюда и вліяніе ослабленія листовъ заклепочными дырами), то множитель m уменьшится до величины 1250.

Принявъ такой вѣсъ трубы мы получимъ слѣдующія величины координатъ x и y на чер. 56 (въ предположеніи $m = 1250$):

x	пролетъ $= 2x$	подъемъ $= y$	отношеніе $\left(\frac{d}{d_0}\right)^2$
100	200	4,00	1,00
200	400	16,08	1,01
300	600	36,35	1,03
400	800	65,11	1,05
500	1000	102,76	1,08
600	1200	149,87	1,12
700	1400	204,63	1,18

Такимъ образомъ, трубчатая арка, съ пролетомъ въ 1200 футъ и съ подъемомъ въ одну осьмую пролета, не будетъ испытывать никакихъ сжимающихъ напряженій отъ собственнаго вѣса, если она будетъ наполнена газомъ съ такимъ давленіемъ, что вслѣдствіе этого давленія стѣнки трубы подвергаются въ діаметральномъ сѣченіи напряженію на разрывъ (разрывъ по образующей), равному шести тоннамъ на квадратный дюймъ.



Чер. 57.

Если принимать во вниманіе только вѣсъ самихъ трубъ, то множитель m можно считать (конечно, внутри умѣренныхъ предѣловъ) одинаковымъ для различныхъ діаметровъ и толщинъ и поэтому вычисленныя координаты будутъ однѣ и тѣ же, все равно, будемъ ли мы имѣть одну большую трубу или нѣсколько стоящихъ рядомъ трубъ малаго діаметра, сгруппированныхъ вмѣстѣ, какъ на чер. 57; разница получится лишь въ томъ случаѣ, если бы мы приняли во вниманіе вѣсъ раскосовъ, которые придется устроить между такими трубами.

7). Экспериментальное опредѣленіе сопротивленія раструбныхъ соединеній вырыванію.

§ 37. Цѣлію этихъ опытовъ было—опредѣлить дѣйствительнымъ, непосредственнымъ опытомъ — какое сопротивленіе раструбныя соединенія оказываютъ растягивающимъ трубы силамъ, которыя стремятся вырвать задокъ предыдущей трубы изъ раструба послѣдующей, и которыя обыкновенно бываютъ въ дѣйствительности обусловлены давленіемъ жидкости на поперечное сѣченіе трубы при сосѣдствѣ колѣна и т. п.

При этихъ опытахъ вырывающая сила прикладывалась къ трубамъ по направленію ихъ оси и величина ея измѣрялась при помощи разрывной машины Wicksteed'a, такъ какъ такое измѣреніе оказывалось болѣе точнымъ, нежели измѣреніе гидростатическаго давленія посредствомъ манометра.

Возможно, конечно, что сопротивленіе свинцовой заливки вырыванію зависитъ, хотя и въ незначительной степени, отъ присутствія или отсутствія внутри трубы жидкости, имѣющей извѣстное давленіе, именно, это сопротивленіе можетъ увеличиваться вслѣдствіе усиленнаго давленія на свинецъ, или же и уменьшаться благодаря смазкѣ водою (или другой жидкостію); давленіе же жидкости на кольцевую внутреннюю поверхность заливки во всякомъ случаѣ способствуетъ выпиранію свинцоваго кольца. Но мало вѣроятно, чтобы это вліяніе присутствія или отсутствія давленія внутри жидкости измѣняло бы сопротивленіе свинцоваго кольца вырыванію въ такой степени, чтобы его было необходимо принимать во вниманіе; во всякомъ случаѣ, опыты производились съ трубами, внутри которыхъ *никакого давленія жидкости не было.*

Опытамъ было подвергнуто нѣсколько раструбныхъ соединеній различныхъ типовъ, которыя встрѣчаются въ практикѣ построенія трубопроводовъ значительнаго діаметра; но такъ какъ сила разрывной машины была ограничена 50 тоннами, то пришлось ограничиться трубами съ діаметромъ въ 3,5 дюйма, хотя формы сѣченій свинцовыхъ колецъ были во всѣхъ отношеніяхъ подобны тѣмъ, которыя употребляются при трубахъ значительнаго діаметра. И повидимому можно думать, что сопротивленіе почти пропорціонально, при данномъ сѣченіи, окружности, измѣренной по линіи срѣза.

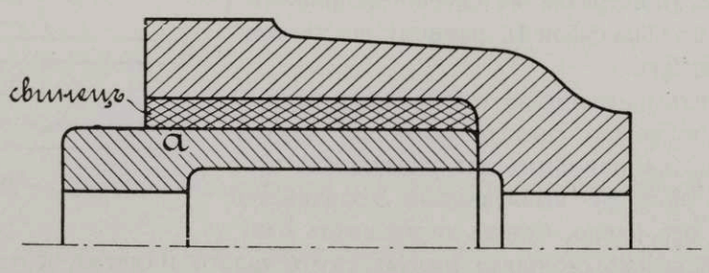
Трубы и раструбы были чугунныя, безъ всякой покрышки (асфальтировки); поверхности оставлялись въ томъ видѣ, какъ онѣ вышли изъ литейной; въ одномъ только случаѣ раструбъ былъ гладко расточенъ внутри, какъ это и указано въ опытѣ № 2_c.

Во всѣхъ испытанныхъ соединеніяхъ свинцовая набивка уплотнялась посредствомъ расчеканки, производимой у оконечности раструба. Во всѣхъ случаяхъ, гдѣ употреблялась плетенка, наблюдались значительныя перемѣщенія трубъ во время сжатія этой плетенки, прежде, нежели трогался съ мѣста свинецъ; во всѣхъ случаяхъ записывалась, какъ результатъ опыта, та нагрузка, при которой начиналъ трогаться съ мѣста свинецъ, и начиная съ этого момента сопротивленіе, вообще, убывало по мѣрѣ того, какъ задокъ постепенно вылѣзалъ изъ раструба.

Для того, чтобы по возможности точно узнать наибольшую величину сопротивленія, приходилось увеличивать нагрузку очень медленно и постепенно.

Раструбное соединеніе № 1.

Длина раструба—4 дюйма; раструбъ совершенно заполненъ свинцомъ. Діаметръ раструба—3,5 дюйма, внутренняя поверхность — ровный цилиндръ. Діаметръ вставной трубы (задка) — 2,92 дюйма; наружная поверхность задка совершенно гладкая.



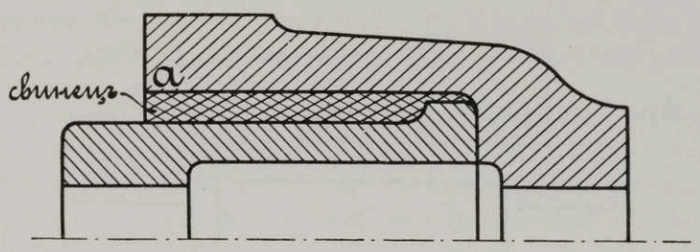
№ 1. Чер. 58.

Наибольшее сопротивленіе	полное	5,7 тонны
„ „	на дюймъ окружности	12,4 центнера
„ „	на одинъ квадратный дюймъ площади при a	3,1 „

Раструбное соединеніе № 2.

Раструбъ—тотъ же, что въ случаѣ 1; плетенки никакой не было. Труба (задокъ) имѣла наружный діаметръ въ 2,92 дюйма и буртикъ съ наружнымъ діаметромъ въ 3,25 дюйма и толщиною въ $^5/_8$ дюйма.

№ 2.



Чер. 59.

Глубина свинцовой заливки въ опытѣ № $2_a = 3^3/_8$ дюйма
" " " " " № $2_b = 1^1/_2$ "
" " " " " № $2_c = 1^1/_2$ "

Раструбъ въ опытѣ № 2_c имѣлъ внутреннюю поверхность гладко обточенную.

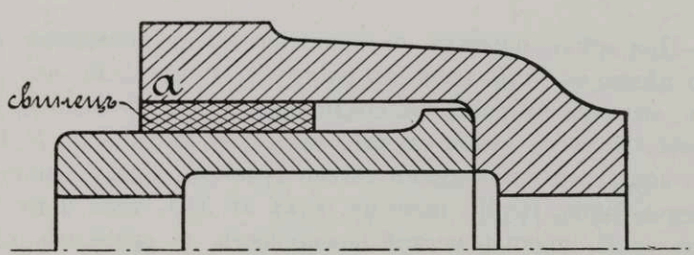
	2_a	2_b	2_c
Наибольшее сопротивленіе въ тоннахъ, полное	30,5	11,4	17,2
" " " центнерахъ на одинъ дюймъ окружности .	55,5	20,8	31,4
" " " центнерахъ на одинъ квадратный дюймъ площади при a	16,5	13,9	20,9

Раструбное соединеніе № 3.

Какъ труба съ буртикомъ, такъ и цилиндрическій раструбъ—тѣ же самые, которые были въ соединеніи № 2, только для забивки раструба здѣсь былъ употребленъ не одинъ свинецъ, а была также и плетенка; длина этой плетенки по направленію оси трубы измѣнялась отъ 1 дюйма до $1^3/_8$ дюйма, а остальная часть глубины раструба заливалась свинцомъ.

Глубина свинца въ соединеніи № $3_a = 1^3/_4$ дюйма
" " " " № $3_b = 2^3/_8$ "
" " " " № $3_c = 2^3/_8$ "

№ 3.



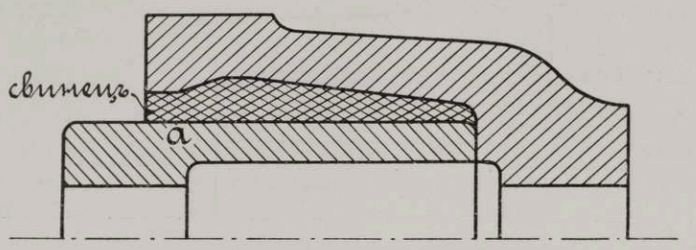
Чер. 60.

	3_a	3_b	3_c
Наибольшее сопротивленіе въ тоннахъ, полное	6,82	5,00	6,25
" " " центнерахъ на одинъ дюймъ окружности .	12,4	9,1	11,4
" " " центнерахъ на одинъ квадратный дюймъ площади при a	7,1	3,8	4,8

Раструбное соединеніе № 4.

Глубина раструба—4 дюйма; раструбъ совершенно заполненъ свинцомъ. Въ раструбѣ выточено углубленіе, у котораго наибольшій внутренній діаметръ равенъ 3,9 дюйма. Задокъ трубы—гладкій цилиндрическій, безъ буртика.

№ 4.



Чер. 61.

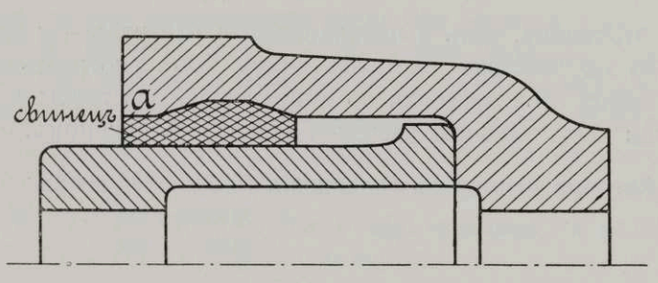
Наибольшее сопротивленіе,	полное	5,5 тонны
„ „	на одинъ дюймъ окружности при a	12,0 центнеровъ
„ „	на одинъ квадратный дюймъ площади при a	3,0 „

Раструбное соединеніе № 5.

Раструбъ имѣетъ углубленіе съ внутреннимъ діаметромъ въ 3,9 дюйма. Задокъ трубы цилиндрическій съ внѣшнимъ діаметромъ въ 2,9 дюйма и съ буртикомъ на концѣ. Въ раструбъ забита плетенка съ высотою въ $1^3/_8$ дюйма и затѣмъ залитъ свинецъ на высоту 2 дюймовъ.

Наибольшее сопротивленіе,	полное	17 тоннъ
„ „	на одинъ дюймъ окружности при a	30,9 центнера
„ „	на одинъ квадратный дюймъ площади при a	15,4 „

№ 5.



Чер. 62.

Примѣчанія.—При всѣхъ опытахъ съ ровными цилиндрическими задками (безъ буртиковъ) свинцовое кольцо цѣликомъ оставалось въ раструбѣ, а вылѣзала изъ него лишь труба (задокъ). Такимъ образомъ, выточка въ раструбѣ соединенія № 4 нисколько не помогала сопротивленію соединенія вырыванію. Какъ въ этомъ случаѣ, такъ и въ соединеніи № 1 сопротивленіе вылѣзанію было обусловлено исключительно однимъ только треніемъ между свинцомъ и наружною цилиндрическою поверхностью задка трубы; поэтому, какъ въ № 1, такъ и въ № 4 сопротивленіе на одинъ квадратный дюймъ этой цилиндрической поверхности и оказалось одно и то же, именно 3 центнера.

При всѣхъ опытахъ, сдѣланныхъ съ соединеніемъ № 2, свинецъ былъ срѣзываемъ по всей своей длинѣ буртикомъ трубы, такъ что къ концу опыта въ раструбѣ оставался тонкій кольцевой слой или цилиндрикъ свинца, который выстилалъ всю внутреннюю поверхность раструба и который вылѣзалъ лишь подъ самый конецъ опыта, когда буртикъ выходилъ уже изъ раструба. Повидимому, свинецъ отдавливался коническою частью буртика по радіальному направленію, такъ что между внутреннею поверхностью раструба и свинцомъ возбуждалось усиленное треніе, которое и препятствовало свинцовому кольцу вылѣзать наружу, и, какъ видно, это сопротивленіе отъ усиленнаго тренія не уменьшилось даже и въ томъ случаѣ, когда раструбъ внутри обточили гладко, какъ это имѣло мѣсто въ опытѣ № 2_c. Во всѣхъ трехъ случаяхъ этого опыта (a, b, c), сопротивленіе на одинъ квадратный дюймъ срѣзанной поверхности было гораздо болѣе, нежели въ случаяхъ соединеній №№ 1 и 4.

При всѣхъ опытахъ съ соединеніемъ № 3 плетенка сперва уплотнялась въ плотную лепешку и лишь послѣ этого свинецъ начиналъ вылѣзать впередъ въ видѣ цѣльнаго тѣла. Присутствіе плетенки, которая способна сильно сжиматься, уничтожаетъ распирающее радіальное дѣйствіе заплечика или буртика на свинцовое кольцо, и значительно уменьшаетъ сопротивленіе соединенія вырыванію. Сопротивленіе это въ разсматриваемомъ случаѣ страдаетъ еще и отъ присутствія масла или жира, которымъ пропитывается плетенка, и которое выступаетъ изъ нея при сильномъ давленіи; поэтому сопротивленіе выходитъ, вообще, почти такимъ же, какъ и сопротивленіе соединеній № 1 и № 4. Свинецъ здѣсь не срѣзывался и вообще не подвергался никакому замѣтному искаженію.

Что касается соединенія № 5, то, конечно, здѣсь присутствіе плетенки не оказывало никакого ослабляющаго вліянія на сопротивленіе соединенія, такъ какъ здѣсь свинецъ заполняетъ выточку раструба и, слѣдовательно, не можетъ просто вылѣзать впередъ какъ одно неизмѣняемое тѣло, а долженъ *течь*, какъ пластичный матеріалъ, или *срѣзываться* при подвиганіи впередъ сжатаго кольца изъ плетенки.

Изъ этихъ опытовъ видно, что въ тѣхъ случаяхъ, когда устраиваютъ раструбныя соединенія съ заполненіемъ части внутренности раструба какимъ нибудь упругимъ матеріаломъ (плетенкой), выточка въ раструбѣ даетъ намъ возможность получить значительное сопротивленіе вырыванію, хотя задокъ трубы долженъ при этомъ тоже быть выполненъ съ буртикомъ. Приблизительно такое же сопротивленіе наблюдается и при гладкомъ цилиндрическомъ раструбѣ, если онъ весь заполненъ однимъ лишь свинцомъ; но значительное сопротивленіе, наблюдавшееся при соединеніи по типу № 2, уменьшается во много разъ, какъ только въ такое соединеніе будетъ введена плетенка, какъ это имѣло мѣсто при опытѣ № 3.

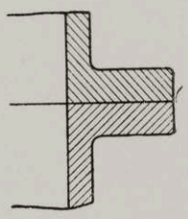
ГЛАВА IV.

О герметичности трубъ и ихъ соединеній.

§ 38. Теперь разсмотримъ вопросъ о *герметичности* или *непроницаемости* трубъ и ихъ соединеній.

Непроницаемость самихъ стѣнокъ трубъ для заключенной или текущей внутри ихъ жидкости достигается достаточной толщиною и достаточною плотностію матеріала самихъ стѣнокъ трубъ. По бо̀льшей части стѣнки трубъ дѣлаются изъ металловъ, матеріаловъ, обладающихъ значительною плотностію и непроницаемостію какъ для капельныхъ жидкостей, такъ и для газовъ и паровъ. Стѣнкамъ трубъ изъ другихъ матеріаловъ (глины, цемента, бетона, дерева и пр.) достаточная герметичность тоже придается надлежащимъ выборомъ толщины этихъ стѣнокъ. Убѣжденіе въ достаточной плотности и доброкачественности матеріала металлическихъ трубъ, при выбранной толщинѣ стѣнокъ ихъ, получается путемъ надлежаще поставленной *пробы* и *пріемки* трубъ *.

Въ тѣхъ же мѣстахъ трубопровода, гдѣ имѣются *соединенія* отдѣльныхъ трубъ, тамъ, гдѣ одна труба такъ или иначе соединяется съ другою, мы, конечно, для достиженія герметичности не можемъ допускать завѣдомо большихъ, такъ сказать, *измѣримыхъ* щелей или промежутковъ между оконечностями двухъ смежныхъ соединяемыхъ трубъ. Въ мѣстѣ соединенія, какова бы ни была конструкція этого соединенія, непремѣнно мы будемъ имѣть двѣ прилегающія одна къ другой поверхности, принадлежащія двумъ разнымъ (смежнымъ) трубамъ, между которыми не должна никоимъ образомъ пробираться находящаяся въ трубѣ жидкость, а для этого, какъ говорится, „понятно“, что эти поверхности должны „плотно“ прилегать другъ къ другу. Мы теперь выяснимъ по возможности опредѣленнѣе, что значитъ это „*плотно*“.



Чер. 63.

Положимъ, что соединеніе трубъ производится флянцами и пусть эти два металлическіе флянца прикасаются непосредственно другъ къ другу (чер. 63).

Какъ бы хорошо и тщательно ни были выровнены или выглажены прикасающіяся другъ къ другу поверхности этихъ флянцевъ (будемъ для простоты разговора и

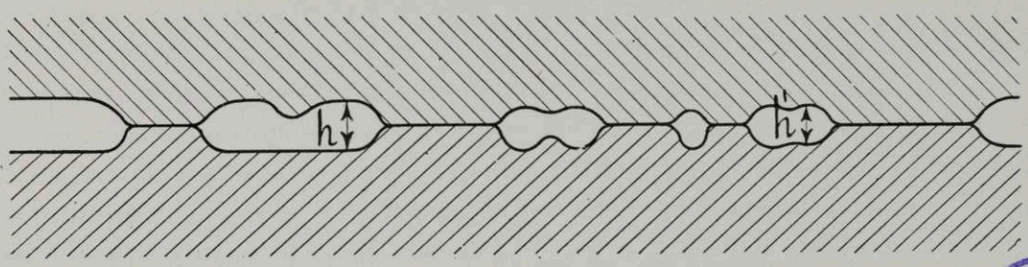
---

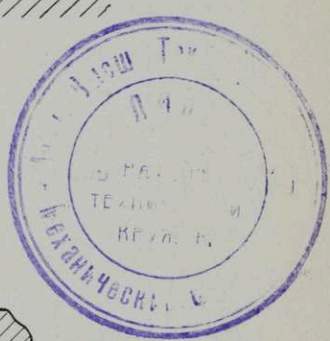
* Что касается деревянныхъ трубъ, то при нихъ иногда имѣетъ значеніе и еще одно усложняющее обстоятельство, именно *испареніе* просачивающейся сквозь стѣнки трубы воды. Съ этимъ обстоятельствомъ можно встрѣтиться въ томъ случаѣ, если деревянный трубопроводъ значительной длины лежитъ на поверхности земли, такъ что наружная поверхность его омывается воздухомъ. Какъ бы ни были толсты стѣнки трубы, все таки онѣ будутъ пропитываться водою насквозь и если поверхность трубы подвергается прямому дѣйствію солнечныхъ лучей (въ особенности въ жаркомъ климатѣ), то постоянное испареніе воды съ этой поверхности будетъ вызывать постоянный же притокъ воды изъ трубы и можетъ стать источникомъ замѣтной потери. Впрочемъ, замѣтной потеря эта станетъ лишь при очень большой длинѣ трубопровода, и хотя въ этомъ направленіи имѣется пока мало опытныхъ данныхъ, однако нѣкоторыя наблюденія, сдѣланныя въ Америкѣ показали, что потеря эта не такъ ужъ велика.

чертежа предполагать ихъ плоскими, хотя дѣло нисколько не мѣняется, если это будутъ и двѣ произвольныя совпадающія поверхности), все таки онѣ не будутъ представлять изъ себя математическихъ плоскостей; если бы мы разсмотрѣли ихъ въ микроскопъ съ достаточно сильнымъ увеличеніемъ, то мы увидали бы, что каждая плоскость усѣяна массою небольшихъ бугорковъ или возвышеній. Если сложить вмѣстѣ двѣ такія плоскости и прижать ихъ другъ къ другу нѣкоторою силой, то часть возвышеній одной плоскости соприкоснется съ возвышеніями другой плоскости, и подъ дѣйствіемъ нажатія эти прикоснувшіеся бугорки нѣсколько сомнутся и мѣста прикосновенія ихъ будутъ нѣкоторыя замкнутыя фигуры. На чер. 64 такія фигуры прикосновенія показаны слегка заштрихованными пятнами, а на чер. 65 представленъ разрѣзъ двухъ этихъ прикасающихся (уже прижатыхъ) поверхностей, сдѣланный по линіи *AB* на чер. 64.

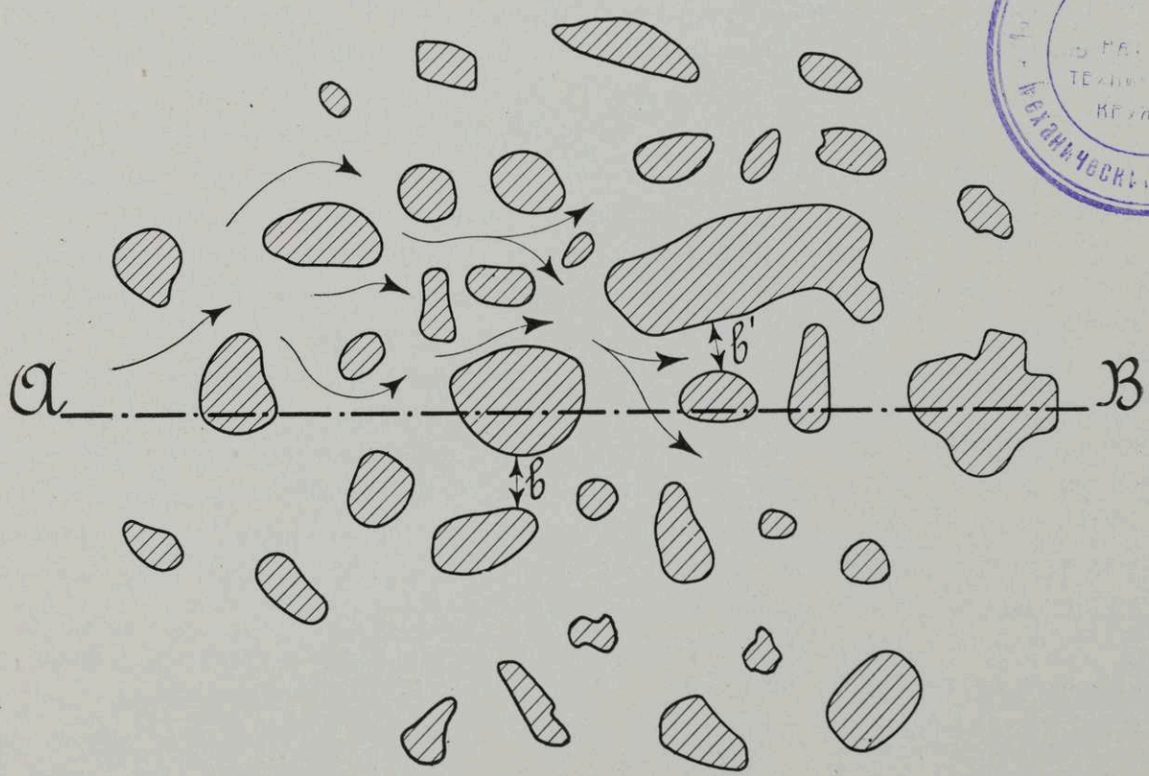
Какъ видно, все мѣсто прикосновенія представляетъ изъ себя въ дѣйствительности рядъ *островковъ* (отдѣльныхъ мѣстъ прикосновенія) и рядъ промежутковъ

Чер. 65.





Чер. 64.



или каналовъ между ними, каковые каналы всѣ, вообще говоря, сообщаются между собою, такъ что образуется между островками непрерывная сѣть или линія каналовъ или трубъ. Правда, каналы эти практически очень малы. Ихъ поперечные размѣры b и b' измѣряются десятыми долями миллиметра, а можетъ и того меньше; ихъ высоты h и h' измѣряются, можетъ быть, сотыми и тысячными долями миллиметра; но, тѣмъ не менѣе, эти каналы или волосныя трубы существуютъ и по нимъ жидкость можетъ пройти изъ внутренности трубы наружу. Сообщеніе существуетъ, уничтожить его мы не въ состояніи. *Но мы должны постараться сдѣлать такъ, чтобы по этимъ кана-*

ламъ жидкость (или паръ или газъ), хотя и вошедшая въ нихъ у внутренней поверхности трубы, не могла бы добраться до наружной поверхности. Это и будетъ значить, что мы обезпечили герметичность.

Чѣмъ же обусловлено проникновеніе жидкости или газа сквозь такія узкія трубы или щели?—*Качественно*—тѣмъ же, чѣмъ и движеніе жидкости сквозь широкія трубы: площадію поперечныхъ сѣченій каналовъ и величиною прогоняющаго жидкость давленія; количественно—законами, нѣсколько иными, нежели тѣ, которые управляютъ движеніемъ жидкостей по широкимъ трубамъ.

Намъ нѣтъ надобности входить здѣсь въ подробности этихъ законовъ, такъ какъ выясненіе условій герметичности путемъ вычисленія, все равно, невозможно и никогда не дѣлается. Намъ необходимо и достаточно только, для яснаго пониманія сути дѣла и для правильнаго сужденія объ различныхъ обстоятельствахъ его, разсмотрѣть причины, вліяющія на условія протеканія жидкости, не входя въ разсмотрѣніе числовыхъ соотношеній.

Сопротивленіе узкихъ трубъ и каналовъ (волосныхъ трубъ) проникновенію сквозь нихъ жидкости весьма сильно зависитъ отъ площади поперечнаго сѣченія и даже отъ отдѣльныхъ размѣровъ этого сѣченія. Если одинъ размѣръ весьма малъ (напр. h' на чер. 65), то это, при той же площади сѣченія, причиняетъ бо́льшее сопротивленіе прохожденію или бо́льшую потерю напора, необходимую для проталкиванія жидкости. Поэтому, для полученія герметичности мы должны стараться по возможности уменьшать оба наши размѣра, т. е. и b и h; слѣд., надо стараться уменьшать какъ среднюю вѣроятную ширину b промежутковъ между прилегающими пятнами двухъ прикасающихся плоскостей, такъ и среднюю вѣроятную высоту ихъ h. Первое достигается преимущественно путемъ возможно тщательнаго выглаживанія и полировки поверхностей прикосновенія, второе — главнымъ образомъ путемъ достаточно сильнаго прижатія ихъ другъ къ другу.

Всякому, производившему когда либо работу пришабриванія, извѣстно, что по мѣрѣ того, какъ плоскости все болѣе и болѣе выравниваются, приближаясь къ виду математическихъ плоскостей, растетъ число окрашивающихся при притиркѣ пятенъ, уменьшаются размѣры этихъ пятенъ и пятна все болѣе и болѣе сближаются между собою. Слѣд., промежутки или каналы между такими пятнами (а эти пятна и будутъ при нажатіи тѣлъ соотвѣтствовать нашимъ островкамъ чер. 64) будутъ постепенно уменьшаться въ своей ширинѣ по мѣрѣ выглаживанія плоскостей прикосновенія. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ практики оказывается достаточнымъ этого одного средства, именно—тщательнѣйшаго выглаживанія путемъ пришабриванія или даже только хорошей обточки, для того чтобы достигнуть полной герметичности не только для капельныхъ жидкостей, но даже и для пара. Постановка флянцевъ прямо на пришабренныхъ поверхностяхъ ихъ показана на табл. 114, фиг. 2 и 3. Подобнымъ образомъ въ Америкѣ часто ставятъ флянцы паровыхъ цилиндровъ и т. п. *

Но для того, чтобы получить достаточно сильное нажатіе самихъ бугорковъ двухъ поверхностей, а также и для того, чтобы благодаря расплющиванію этихъ бугорковъ уменьшились ширины промежутковъ между ними, необходимо сильно нажать

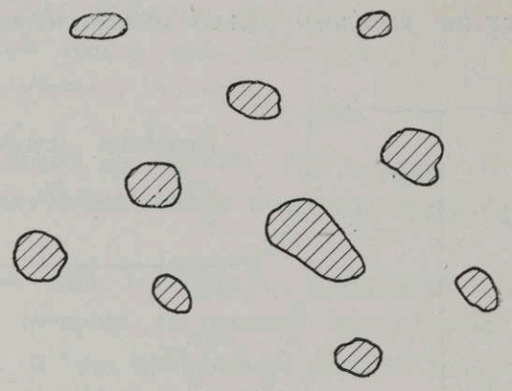
---

* Въ Европѣ, а тѣмъ болѣе, конечно, въ Россіи, такой способъ постановки мало извѣстенъ и даже вызываетъ недовѣріе. Я вспоминаю, что когда я былъ студентомъ И. Т. У. въ 1889 г., въ Москвѣ однимъ изъ моихъ старшихъ товарищей инженеровъ, а нынѣ сослуживцемъ, ставилась чуть ли не первая въ Москвѣ паровая машина Вестингауза для электрическаго освѣщенія. Флянцы парового цилиндра и крышки были пришабрены и должны были быть собраны безъ всякихъ прокладокъ (при давленіи пара довольно большомъ). Русскіе рабочіе никакъ не могли повѣрить тому, чтобы безъ прокладки „держало“ и все совали между флянцами картонъ и еще что-то, и понадобилось наконецъ энергическое приказаніе ставившаго машину инженера (жившаго и работавшаго нѣсколько лѣтъ въ Америкѣ) — „*Выкинуть къ чорту всю эту дрянь!*“ для того, чтобы рабочіе рѣшились поставить флянцы „просто такъ, *безъ ничего*“; и немало были они удивлены, когда увидали, что флянцы держатъ отлично и ничуть не парятъ.

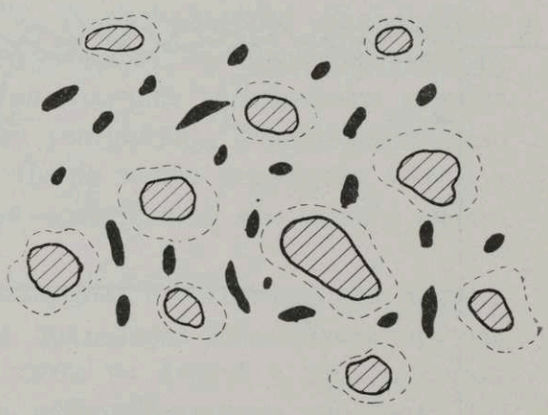
другъ къ другу обѣ прикасающіяся поверхности. Чѣмъ больше давленіе жидкости, тѣмъ больше напоръ, проталкивающій жидкость сквозь щели соединенія, и тѣмъ больше должно быть нажатіе поверхностей двухъ соединяемыхъ трубъ для того, чтобы жидкость не пробралась между ними. Вслѣдствіе такого нажатія расплющиваются все больше отдѣльные бугорки, а затѣмъ, отъ приближенія поверхностей другъ къ другу, начинаютъ прикасаться и приминаться новые (болѣе низкіе) бугорки, такъ что между старыми прикасающимися бугорками появляются еще и новые и слѣд. еще больше уменьшается тогда свободная ширина каналовъ.

Чер. 66 и 67 представляютъ примѣрную картину прикасающихся бугорковъ при слабомъ и при сильномъ нажатіи. На чер. 67 показано: пунктиромъ — дальнѣйшее расплющиваніе прежнихъ прижатыхъ уже бугорковъ вслѣдствіе болѣе сильнаго нажатія, и черными островками — появленіе новыхъ прижавшихся бугорковъ.

Но въ большинствѣ случаевъ достигнуть герметичности хотя бы даже и сильнымъ нажатіемъ другъ къ другу металлическихъ поверхностей — рѣдко удается, въ особенности при высокихъ давленіяхъ. Затѣмъ, такая сборка требуетъ дорогой работы пришабриванія. Поэтому въ большинствѣ случаевъ практики помогаютъ дѣлу тѣмъ, что искусственно увеличиваютъ площадь расплющиванія бугорковъ, вводя въ дѣло бугорки изъ *мягкаго* матеріала.



Чер. 66.



Чер. 67.

Металлъ, изъ котораго дѣлаются трубы и флянцы, вообще довольно жестокъ. Если же между двумя прикасающимися металлическими плоскостями (или вообще всякими поверхностями) мы проложимъ слой (обыкновенно тонкій, такъ какъ толщина его не играетъ роли) какого нибудь *мягкаго*, т. е. легко сминающагося и расплющивающагося матеріала, то, при томъ же нажатіи, произведенномъ нами на единицу площади прикосновенія въ соединеніи, бугорки мягкаго матеріала расплющатся до гораздо бо́льшихъ по площади фигуръ, нежели бугорки самого металла; бугорки мягкаго матеріала влѣзутъ во всѣ промежутки между бугорками твердаго флянца и для прохода жидкости или газа останутся промежутки иногда во много разъ меньшіе, нежели это было бы, при томъ же самомъ нажатіи на единицу поверхности, въ случаѣ металлическихъ флянцевъ, прилегающихъ прямо другъ къ другу.

Таково значеніе *прокладокъ*, употребляемыхъ постоянно въ практикѣ. Наиболѣе обычными мягкими матеріалами, которые употребляются въ роли прокладокъ, служатъ:

кожа, резина, картонъ, матеріи, плетенки,
свинецъ, мягкая красная мѣдь и пр.

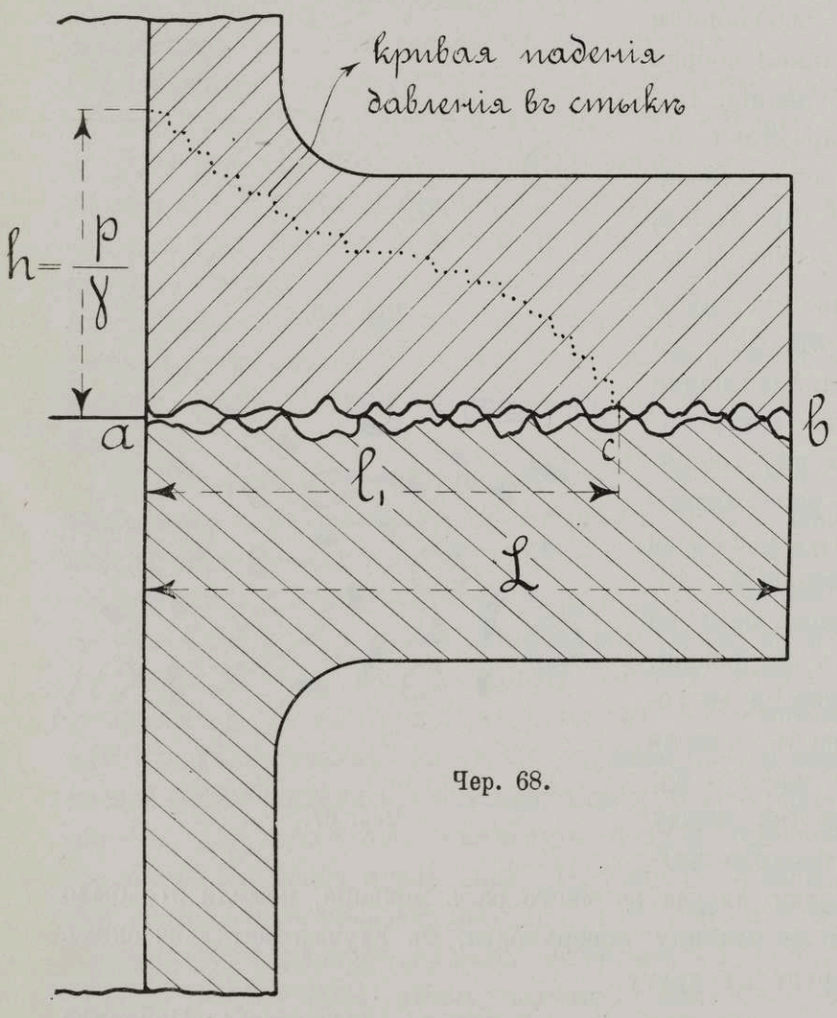
Необходимое для обезпеченія герметичности нажатіе прикасающихся поверхностей двухъ соединяемыхъ трубъ, вообще говоря, не получится само собою и мы, при проэктированіи соединенія, должны позаботиться о томъ, чтобы такое достаточное нажатіе было бы вызвано. Достигнута эта цѣль можетъ быть различными средствами.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ необходимое нажатіе двухъ трубъ въ мѣстахъ соединенія ихъ, или необходимое нажатіе прокладки къ поверхностямъ трубъ можетъ быть

вызвано самимъ же давленіемъ жидкости, находящейся въ трубѣ. Такова именно извѣстная всѣмъ идея воротника гидравлическаго пресса *Брама* и ею иногда пользуются и при соединеніяхъ трубъ. Примѣръ имѣется на табл. 73 Атласа, фиг. 11. На томъ же принципѣ основано соединеніе трубъ по способу Гоппе (описано, напр., въ „Деталяхъ Машинъ“ Баха).

Но несравненно чаще нажатіе двухъ трубъ другъ къ другу или нажатіе прокладокъ или набивки къ нимъ для полученія герметичности приходится производить *искусственно*, преимущественно при помощи болтовъ, которыми стягиваются флянцы двухъ соединяемыхъ трубъ, или при помощи навертыванія на трубы гаекъ или муфтъ и другими подобными средствами. Силу, съ которой сжатая набивка воздѣйствуетъ обратно на болты, необходимо принимать въ расчетъ при опредѣленіи размѣровъ этихъ послѣднихъ, о чемъ подробно будетъ говорено дальше.

То, что̀ сказано до сихъ поръ относительно прохода жидкости сквозь промежутки, касалось только *геометрической* стороны дѣла, т. е. **величины** промежутковъ. Но имѣетъ большое значеніе и *физическая* сторона дѣла, именно характеръ самой находящейся въ трубахъ жидкости. Какъ извѣстно изъ Гидравлики и Физики, чѣмъ больше плотность жидкости, тѣмъ больше сопротивленіе ея движенію сквозь всякія трубы и щели. Поэтому, если въ трубопроводѣ находится жидкость съ значительною плотностію, каковы всѣ *капельныя* жидкости (вода, ртуть, спиртъ, разные растворы и пр.), то такая жидкость гораздо труднѣе пробирается черезъ щели извѣстнаго размѣра, чѣмъ жидкость менѣе плотная, напр. какой нибудь *паръ* или *газъ*. Такимъ образомъ, при устройствѣ соединенія трубъ играетъ важную роль то обстоятельство— для содержанія и проведенія какого вещества эти трубы назначены? Если въ трубахъ находится капельная жидкость, то герметичности флянцевъ можно достигнуть при меньшемъ нажатіи или при менѣе мягкой прокладкѣ и т. п., чѣмъ въ томъ случаѣ, если въ трубахъ находится паръ или газъ. Подробнѣе объ этомъ будемъ говорить дальше, при разсмотрѣніи различныхъ соединеній трубъ для различныхъ цѣлей.



Чер. 68.

Подобно тому какъ и о самихъ трубахъ, можно сказать и о прокладкахъ, что выборъ матеріала для нихъ находится въ зависимости отъ свойствъ жидкости, если только прокладка какъ нибудь не спрятана такъ, что жидкость ее не омываетъ (но это рѣдко бываетъ). Именно, жидкость не должна разрушающимъ образомъ дѣйствовать на прокладку. Поэтому, напр., при горячей водѣ не годятся кожаныя прокладки, при очень горячемъ парѣ не годится резина (исключая спеціальные сорта) и т. п.

Итакъ, съ точки зрѣнія Гидравлики вопросъ о герметичности можетъ быть формулированъ слѣдующимъ образомъ:

> *Если имѣется стыкъ двухъ трубъ извѣстной ширины L (чер. 68, гдѣ показано соединеніе флянцами), то сдѣлать его герметичнымъ значитъ расположить дѣло такъ, чтобы весь напоръ h, соотвѣтствующій избыточному давленію жидкости въ трубѣ p (при плотности жидкости γ), потратился бы (на преодолѣніе сопротивленій движенію жидкости сквозь стыкъ) на длинѣ l_1, меньшей, нежели ширина L стыка по радіальному направленію,*

или, другими словами:

> *еще внутри стыка (въ точкѣ c) свободное давленіе жидкости должно обратиться въ давленіе наружной среды, или избытокъ его надъ наружнымъ давленіемъ долженъ упасть до нуля.*

Это и показано на діаграммѣ давленій въ стыкѣ на чер. 68, гдѣ графически представлено постепенное паденіе (вдоль радіуса) избыточнаго напора у каждаго бугорка и на длинѣ каждаго канальца.

Изъ сказаннаго ясно, что ширина прокладки или поверхности прикосновенія двухъ флянцевъ *вовсе не безразлична*, при данномъ давленіи на единицу поверхности стыка. Изъ діаграммы фиг. 68 видно, что для того, чтобы, при данной степени гладкости поверхностей и данномъ нажатіи на единицу площади стыка, напоръ въ стыкѣ упалъ бы до нуля (избыточный напоръ), **необходима извѣстная** *наименьшая* **ширина прокладки или поверхности прикосновенія по радіальному направленію** l_1, и если эта ширина не будетъ соблюдена конструкторомъ при проэктированіи, то впослѣдствіи окажется невозможнымъ никакими путями получить герметичность и стыкъ будетъ течь. Устранить течь возможно будетъ только усиленнымъ, черезмѣрнымъ затягиваніемъ болтовъ, стягивающихъ флянцы и т. п. Но на такую перегрузку болты не будутъ расчитаны и послѣдствіемъ будетъ являться лопаніе ихъ, что часто и наблюдается въ практикѣ.

Теоретически опредѣлить вычисленіемъ всѣ элементы, необходимые для построенія соединенія герметичнымъ—невозможно, и поэтому приходится довольствоваться данными, выработанными хорошей практикой. Съ этою цѣлію въ Атласѣ и приведено такъ много примѣровъ разнообразныхъ соединеній трубъ и ихъ детальныхъ размѣровъ, по возможности для самыхъ разнообразныхъ условій работы.

ГЛАВА V.

Общія соображенія относительно конструированія различныхъ соединеній трубъ.

§ 39. Типы соединеній трубъ. Въ практикѣ получили наибольшее распространеніе слѣдующіе три типа соединеній трубъ:

I). Соединенія **муфтами** или **раструбами,**
II). Соединенія **на флянцахъ,**
III). Соединенія **муфтами на рѣзьбѣ.**

Соединеніе при помощи *муфты* или *раструба* состоитъ въ слѣдующемъ. На одномъ концѣ трубы дѣлается расширеніе (раструбъ или муфта), т. е. труба получаетъ здѣсь тоже видъ цилиндра, но бо́льшаго діаметра; въ эту расширенную часть вставляется конецъ другой трубы, представляющій собою или простое окончаніе обыкновенной цилиндрической трубы, какъ на табл. 62, или же имѣющій на этомъ концѣ еще спеціальное утолщеніе, такъ называемый *буртикъ*, какъ на фиг. 7 и 9, табл. 72. Слѣдовательно, здѣсь каждая труба на одномъ концѣ несетъ раструбъ или муфту, а на другомъ – буртикъ или же просто кончается цилиндромъ. Промежутокъ между внутреннею поверхностію раструба и наружною поверхностію вставленнаго въ него конца слѣдующей трубы заполняется какимъ нибудь матеріаломъ, способнымъ удовлетворить и условіямъ прочности и условіямъ герметичности.

Соединеніе при помощи *флянцевъ* состоитъ въ томъ, что на оконечностяхъ каждой изъ соединяемыхъ трубъ образуютъ (путемъ отливки, припаиванія, приклепыванія, навертыванія на рѣзьбѣ, загиба или откладыванія или развальцовки и пр.) тарелкообразные придатки, такъ называемые *флянцы*, которые заставляютъ прикасаться одинъ къ другому для полученія герметичности (причемъ между ними по большей части прокладывается слой какого нибудь мягкаго матеріала для бо́льшаго обезпеченія герметичности) и которые притягиваютъ другъ къ другу болтами, какъ для полученія достаточнаго нажатія съ цѣлію обезпеченія герметичности, такъ и для сопротивленія продольнымъ силамъ. Разнообразные примѣры такихъ соединеній видны напр. на табл. 84.

Соединенія *муфтами на рѣзьбѣ* состоятъ въ томъ, что на концахъ двухъ соединяемыхъ трубъ нарѣзывается рѣзьба и затѣмъ на нихъ навертывается * третій, короткій отрѣзокъ трубы или *муфта*, который долженъ плотно прилегать своей рѣзьбой къ рѣзьбѣ двухъ соединяемыхъ трубъ для обезпеченія герметичности, и который,

* а въ рѣдкихъ случаяхъ внутрь ихъ ввертывается (и тогда отрѣзокъ называется „ниппелемъ“)

являясь гайкою для трубъ, играющихъ роль пустотѣлыхъ болтовъ, сопротивляется дѣйствію растягивающихъ или сжимающихъ трубопроводъ продольныхъ силъ. Примѣры такихъ соединеній видны на табл. 88, фиг. 11, 12, 13, 14.

Кромѣ этихъ трехъ наиболѣе типичныхъ видовъ соединеній, въ практикѣ встрѣчается еще и много другихъ, какъ то видно изъ приводимыхъ въ Атласѣ примѣровъ, но, вообще говоря, всѣ эти разнообразныя конструкціи подходятъ болѣе или менѣе подъ одинъ изъ указанныхъ здѣсь трехъ основныхъ типовъ.

Теперь является вопросъ:

> *„Какъ же выбрать въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ надлежащую конструкцію соединенія трубъ; когда дѣлать раструбъ, когда флянцы, когда муфты на рѣзьбѣ, когда еще какую нибудь мудреную конструкцію соединенія, каковыхъ патентованы цѣлые десятки?“*

Вопросъ этотъ рѣшается практикою въ зависимости отъ той *цѣли*, для которой предназначается труба и отъ тѣхъ *условій*, въ которыхъ ей придется работать.

Наиболѣе важными соображеніями являются вопросы о **прочности** подъ вліяніемъ какъ внутренняго давленія, такъ и внѣшнихъ силъ, а затѣмъ вопросъ о **герметичности.**

Въ соединеніяхъ **раструбами** внутреннее давленіе жидкости по большей части имѣетъ возможность дѣйствовать на ту часть набивки, которая обращена ко внутренности трубы и стремится всю набивку выдавить вонъ изъ трубы. Сопротивленіе набивки этому выпиранію, достигается ли оно однимъ лишь треніемъ набивки о стѣнки (какъ въ Нѣмецкихъ водопроводныхъ трубахъ, табл. 62, или въ Американскихъ, водопровода въ New York, табл. 110, фиг. 10—14) или же и сопротивленіемъ клиновидной свинцовой части (какъ напр. въ Русскихъ водопроводныхъ трубахъ, табл. 72 и 74), вообще довольно слабо и потому при большихъ давленіяхъ внутри трубъ соединенія раструбами не годятся уже по одному тому, что набивка будетъ выдавлена изъ раструба. Обыкновенно соединенія раструбами примѣняются, поэтому, лишь при давленіяхъ, не превосходящихъ **двадцати атмосферъ** * и то лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда по трубамъ проводятся *капельныя* жидкости. Пары же и газы, которые, какъ объяснено раньше, въ силу своей малой плотности гораздо легче пробираются сквозь всякія щели и скважины, вообще избѣгаютъ проводить по трубамъ съ раструбными соединеніями, исключая лишь тѣ случаи, гдѣ давленіе ихъ очень незначительно, какъ напримѣръ въ трубахъ, проводящихъ газъ для уличнаго освѣщенія.

Точно также, раструбныя соединенія не способны выдерживать и большихъ вырывающихъ силъ въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ труба имѣетъ загибы или колѣна, или закрыта крышками; отсутствіе такихъ загибовъ встрѣчается преимущественно въ водопроводныхъ трубахъ, и именно въ тѣхъ ихъ частяхъ, которыя уложены на большой длинѣ, обыкновенно подъ землею, и идутъ по прямому направленію или лишь слабо и постепенно загибаются. Въ тѣхъ же частяхъ даже и такихъ водопроводовъ съ сравнительно небольшимъ давленіемъ, гдѣ труба дѣлаетъ крутые повороты на 90°, приходится устраивать соединенія флянцами, чему примѣры имѣются въ Атласѣ.

Если длинная труба идетъ вертикально, или вообще лишь мало отклонясь отъ вертикали, то раструбныя соединенія тоже не годятся, такъ какъ въ этомъ случаѣ вѣсъ самого трубопровода является большой вырывающей силою, и хотя его обыкновенно и стараются передать на нѣсколько опоръ, распредѣленныхъ по всей длинѣ трубы, тѣмъ не менѣе, дѣлать вертикальныя трубы большой длины съ раструбными соединеніями не принято, а употребляютъ въ такомъ случаѣ соединенія на флянцахъ.

---

* а обычно даже и 10.

Резюмируя сказанное мы можемъ замѣтить, что

Соединенія раструбами употребляются при небольшихъ давленіяхъ (такъ, не свыше 20 atm) и преимущественно для капельныхъ жидкостей, и для горизонтальныхъ трубъ.

Недостаткомъ соединенія раструбомъ является еще и то обстоятельство, что разборку трубопровода возможно производить лишь безпокоя трубы сосѣднія съ подлежащей удаленію. Это не всегда бываетъ удобно.

Достоинство соединеній раструбами состоитъ въ томъ, что они обладаютъ нѣкоторой подвижностью, которая, какъ указано раньше, необходима во многихъ случаяхъ для предохраненія трубъ отъ случайныхъ силъ, могущихъ безъ такой подвижности достигнуть огромныхъ величинъ. Раструбное соединеніе позволяетъ, благодаря зазору между стѣнками раструба и вставленнаго въ него задка другой трубы и благодаря мягкости и податливости набивки и свинца, находящихся въ этомъ зазорѣ, имѣть трубамъ одна относительно другой всевозможныя перемѣщенія, правда, очень незначительныя, но тѣмъ не менѣе достаточныя для многихъ цѣлей, какъ напримѣръ для водопроводныхъ трубъ, **уложенныхъ подъ землею.**

Соединенія **флянцами** могутъ быть конструированы такимъ образомъ, что набивка въ нихъ вовсе не будетъ подвергаться выпирающему дѣйствію давленія жидкости и такія соединенія выдерживаютъ, безъ малѣйшей течи, давленія въ сотни и даже тысячи атмосферъ. Вслѣдствіе этого соединенія флянцами чрезвычайно распространены и преимущественно при значительныхъ давленіяхъ и при проводкѣ внутри трубъ газовъ и паровъ. Точно также и внѣшнимъ силамъ, стремящимся разорвать трубопроводъ по сѣченію, перпендикулярному къ оси трубъ, соединенія флянцами способны сопротивляться гораздо лучше, чѣмъ соединенія раструбами, ибо раздвиганію трубъ препятствуютъ болты, стягивающіе флянцы и могущіе всегда быть сдѣланными столь прочными, чтобы выдержать всякое желаемое давленіе жидкости въ трубѣ.

Но соединенія флянцами имѣютъ по сравненію съ раструбными тотъ недостатокъ, что сами по себѣ онѣ не обладаютъ свойствомъ нѣкоторой замѣтной податливости, необходимой во многихъ случаяхъ, какъ указано раньше. Тамъ, гдѣ такая податливость необходима, приходится, при соединеніи трубопровода на флянцахъ, вводить въ него одно или нѣсколько *спеціальныхъ* устройствъ, обладающихъ свойствомъ такой **упругой податливости** или даже **кинематически вполнѣ опредѣленной подвижности,** въ видѣ *удобоподвижныхъ соединеній* или же въ видѣ такъ называемыхъ *расширителей* или *компенсаторовъ.* Снабженнымъ такими расширителями можно встрѣтить въ практикѣ почти всякій длинный трубопроводъ.

Слѣдуетъ замѣтить также, что устройство соединеній флянцами, гдѣ обыкновенно имѣется довольно много обработанныхъ поверхностей, обходится въ большинствѣ случаевъ дороже, нежели устройство соединеній раструбомъ.

Разборка соединеній на флянцахъ, въ особенности если на этихъ послѣднихъ нѣтъ центрирующихъ выступовъ, производится гораздо проще, нежели вытаскиваніе трубъ изъ раструбовъ.

Но, не смотря на дороговизну и отсутствіе подвижности,

соединенія на флянцахъ почти исключительно употребляются при значительныхъ давленіяхъ и при проводкѣ веществъ съ малой плотностью (газовъ и паровъ), такъ какъ онѣ обезпечиваютъ полную прочность и герметичность.

Соединенія **муфтами на рѣзьбѣ** употребляются преимущественно для трубъ небольшого діаметра и состоящихъ изъ матеріала не могущаго легко крошиться въ рѣзьбѣ; поэтому, онѣ примѣняются преимущественно для трубъ малаго діаметра, сдѣланныхъ изъ желѣза, красной мѣди и свинца, и весьма рѣдко для трубъ чу-

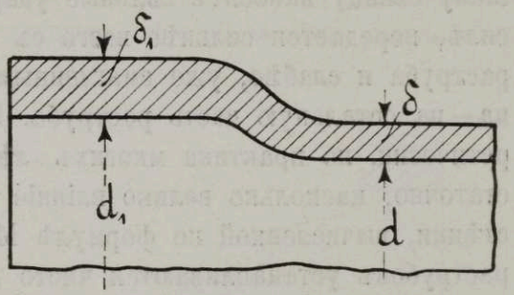
гунныхъ. Податливостью такое соединеніе вовсе не обладаетъ въ необходимой для многихъ случаевъ мѣрѣ. Но оно удобно тѣмъ, что, подобно соединенію раструбами, занимаетъ меньше мѣста, (въ плоскостяхъ, перпендикулярныхъ къ оси трубы) нежели соединеніе на флянцахъ.

Различныя спеціальныя, по большей части „патентованныя“ соединенія примѣняются сравнительно рѣдко; преимущественно онѣ встрѣчаются въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется достиженіе какихъ нибудь особенныхъ условій, напр. большой подвижности, быстрой разборки и сборки и т. п.

Вотъ все существенное, что въ общихъ чертахъ можно сказать о соединеніяхъ трубъ вообще. Дальнѣйшія подробности выяснятся при разсмотрѣніи въ отдѣльности различныхъ видовъ соединеній трубъ.

Для того, чтобы по возможности меньше повторяться при описаніяхъ соединеній различныхъ трубъ, сдѣланныхъ изъ разныхъ матеріаловъ, мы разсмотримъ теперь тѣ соображенія относительно устройства различныхъ соединеній трубъ (раструбами, флянцами и муфтами на рѣзьбѣ), преимущественно съ точки зрѣнія прочности и герметичности, которыя прилагаются болѣе или менѣе одинаково къ трубамъ изъ различныхъ матеріаловъ.

§ 40. Общія соображенія относительно устройства и конструированія раструбовъ. Такъ какъ раструбныя соединенія встрѣчаются преимущественно при чугунныхъ трубахъ и почти исключительно при водопроводныхъ, то многое, относящееся къ устройству такихъ соединеній, должно быть сказано далѣе, при самомъ описаніи соединеній чугунныхъ трубъ. Здѣсь же, поэтому, ограничимся лишь наиболѣе общими соображеніями.



Чер. 69.

Относительно прочности раструба дѣло сводится къ опредѣленію толщины его стѣнки. Если бы раструбное соединеніе устраивалось бы такъ, что стѣнки раструба всегда подвергались бы только дѣйствію давленія находящейся въ трубѣ жидкости, которое передается имъ черезъ забивку, наполняющую раструбъ, то теоретическая толщина стѣнки раструба δ_1 (чер. 69) опредѣлялась бы по формулѣ Маріотта

$$\delta_1 = \frac{d_1 p}{2z},$$

и соотношеніе ея съ теоретической толщиною δ стѣнки самой трубы, опредѣленной по той же формулѣ

$$\delta = \frac{dp}{2z},$$

было бы

$$\frac{\delta_1}{\delta} = \frac{d_1}{d}, \quad \text{или} \quad \delta_1 = \delta \cdot \frac{d_1}{d},$$

такъ что, при обычныхъ размѣрахъ діаметра раструба, стѣнка его была бы лишь немного болѣе толщины стѣнки трубы. Прибавляя къ толщинѣ раструба ту же прибавку c, которую прибавляемъ и къ толщинѣ трубы, мы имѣли бы

$$\delta_1 + c = \delta \cdot \frac{d_1}{d} + c.$$

Принявъ даже, для удобства вычисленія, прибавку къ толщинѣ раструба немного болѣе, именно, равной $c \cdot \frac{d_1}{d}$, что̀ вполнѣ возможно, ибо d_1 всегда немного лишь отличается отъ d, мы получимъ

$$\delta_1 + c' = \delta \cdot \frac{d_1}{d} + c \cdot \frac{d_1}{d} = (\delta + c)\frac{d_1}{d}, \quad \text{или} \quad \Delta_1 = \Delta \cdot \frac{d_1}{d},$$

гдѣ Δ_1 и Δ дѣйствительныя толщины стѣнокъ раструба и трубы.

Эта формула удобна для вычисленія числовыхъ примѣровъ изъ Атласа, такъ какъ мы не знаемъ, какія прибавки c приняты въ различныхъ трубахъ, приведенныхъ въ Атласѣ.

Возьмемъ теперь примѣръ изъ табл. 110, именно фиг. 13. Здѣсь: $d = 36'' = 914\text{mm}$, $d_1 = 37^3/_4'' = 959\text{mm}$, $\Delta = 1'' = 25{,}4\text{mm}$ и потому надо было бы имѣть $\Delta_1 = 25{,}4 \cdot \frac{959}{914} = 26{,}6$, а сдѣлано на самомъ дѣлѣ $\Delta_1 = 1^1/_2'' = 38\text{mm}$, а на концѣ раструба, какъ видимъ, даже и того болѣе, именно $2^3/_4''$, т. е. 70mm!

Изъ этого примѣра мы видимъ, что въ водопроводныхъ трубахъ толщина раструбовъ берется гораздо болѣе теоретической, особенно на концѣ раструба. Это приходится дѣлать, принимая во вниманіе дѣйствіе постороннихъ силъ, именно, ударное дѣйствіе расчеканки свинца, употребляемаго для заливки раструбовъ. Когда по остывшему свинцу наносятъ сильные удары, то дѣйствіе ихъ, въ видѣ весьма значительныхъ силъ, передается сильнѣе всего съ самаго свинца на окружающую его крайнюю часть раструба и слабѣе, уже смягченнымъ—черезъ мягкую набивку, лежащую позади свинца—на остальную часть раструба. Вліяніе этихъ ударовъ не можетъ быть оцѣнено теоретически, но практика многихъ лѣтъ и сотни расколотыхъ раструбовъ выяснили достаточно, насколько велико вліяніе этихъ ударовъ и какими прибавками къ толщинѣ стѣнки, вычисленной по формулѣ Маріотта, надо съ нимъ бороться. Поэтому, толщины раструбовъ устанавливаются чисто практически.

Относительно *герметичности* раструбныхъ соединеній укажемъ здѣсь слѣдующее.

Герметичность раструбнаго соединенія, какъ уже было сказано и раньше, достигается тѣмъ, что промежутокъ между внутреннею поверхностію раструба и наружной поверхностію вставленнаго въ него задка предыдущей трубы заполняется какими нибудь матеріалами, способными дать достаточную непроницаемость для текущей внутри трубъ жидкости, и вмѣстѣ съ тѣмъ удовлетворить условіямъ прочности и обыкновенно также и нѣкоторой подвижности. Наиболѣе обычный способъ заполненія раструба, примѣняемый преимущественно при водопроводныхъ трубахъ, состоитъ въ слѣдующемъ.

Въ самую глубь раструба, на длинѣ приблизительно около половины всей глубины его, вводится какая нибудь мягкая набивка изъ волокнистаго матеріала, напр. пеньковый, слегка просаленый или просмоленый жгутъ и хорошо уплотняется при помощи конопатки. Остающуюся же часть промежутка заливаютъ свинцомъ, который послѣ того, какъ онъ остынетъ, хорошо расчеканиваютъ, т. е. наносятъ по немъ удары инструментомъ вродѣ тупой стамески. Цѣль этой операціи—вызвать сильное нажатіе свинца къ окружающимъ его стѣнкамъ, для того, чтобы обезпечить герметичность. Такая расчеканка обыкновенно производится рабочими вручную, хотя въ послѣднее время появились для такой расчеканки и спеціальныя машинки; одна изъ такихъ машинокъ Американскаго происхожденія описана въ Журналѣ „*Engineering*“ за 1904 годъ, 29 Апрѣля. Машинка надѣвается на трубу и приводится въ дѣйствіе или сжатымъ воздухомъ или паромъ. Она въ особенности пригодна для расчеканки б о л ь ш и х ъ трубъ, такъ, свыше двухъ футовъ въ діаметрѣ.

Преимущества машинки передъ ручной расчеканкой слѣдующія:

1). Въ нижнихъ частяхъ трубы, гдѣ рабочему очень неудобно работать, расчеканка отъ руки очень часто выходитъ крайне неудовлетворительной; для машинки же все равно, гдѣ работать, и потому она даетъ ровную расчеканку по всей окружности;

2). Силу ударовъ очень легко регулировать;

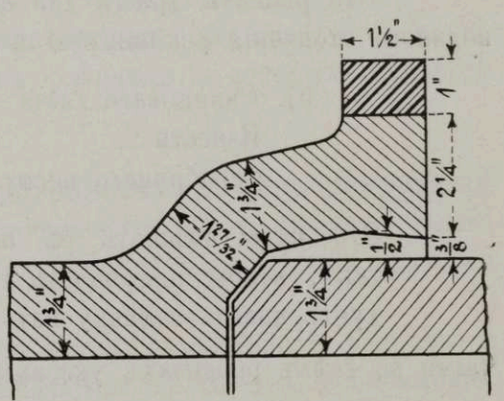
3). При большихъ трубахъ машина оканчиваетъ работу въ нѣсколько разъ скорѣе, чѣмъ это возможно при ручной работѣ;

4). При работѣ сжатымъ воздухомъ возможно производить чеканку подъ водою.

Во время заливки передняя часть раструба окружается особымъ кольцомъ, обмазаннымъ глиной, для того, чтобы свинецъ не ушелъ, а образовалъ бы сплошное тѣло, имѣющее надлежащую внѣшнюю поверхность. Такихъ надѣвныхъ колецъ или хомутовъ существуетъ нѣсколько системъ.

Весьма важно наблюдать за тѣмъ, чтобы ковшъ, изъ котораго наливается расплавленный свинецъ, вмѣщалъ бы въ себѣ свинца непремѣнно нѣсколько болѣе того, сколько требуется для заполненія пустоты въ раструбѣ. *Никакая послѣдующая подливка свинца въ добавленіе къ произведенной уже заливкѣ, если ея окажется недостаточно, не должна быть допускаема*; такой добавленный свинецъ никогда не сплавится хорошо съ первой заливкой, и образуются плены и трещины, которыя могутъ быть причиною течи соединенія.

Иногда, хотя сравнительно рѣдко, можно встрѣтить такой способъ заполненія раструба, что весь раструбъ заливается во всю глубину *однимъ только свинцомъ* и никакой плетенки или каната не употребляется. Такимъ именно способомъ заполнены раструбы водопровода въ Манчестерѣ, въ 1891 году. Для того, чтобы свинецъ не проникъ во внутренность трубъ, на время заливки внутрь трубы вставляется стальное пружинящее кольцо, которое послѣ заливки свинцомъ вынимается. Форма раструба и задка, принятыхъ на этомъ водопроводѣ, показаны на чер. 70.



Чер. 70.
(Штриховки *Атласа*).

Прежде для заполненія раструбовъ сверхъ плетенки была въ большомъ ходу дрязга или ржавая замазка. Рецепты этой массы довольно разнообразны, но сущность вездѣ остается одна и та же—въ составъ дрязги входятъ: желѣзныя или чугунныя опилки, какъ тѣло, способное ржавѣть, и затѣмъ какое нибудь ѣдкое вещество, способное заставить эти опилки заржавѣть. Этой массой забиваютъ раструбъ, и когда она отвердѣетъ, то представляетъ изъ себя твердое тѣло, удовлетворяющее и условіямъ прочности и условіямъ герметичности. Въ настоящее время дрязга вышла изъ моды и почти вездѣ пользуются заливкой свинцомъ.

Рецепты для изготовленія ржавой замазки или дрязги таковы.

1). Берутъ желѣзныя опилки, нѣсколько сѣры и нашатыря и смачиваютъ коровьей мочею. Процентный составъ не указанъ.

2). Нашатыря въ порошкѣ . . . . . 1 часть
Сѣрнаго цвѣта . . . . . 2 части
Желѣзныхъ опилокъ (стружекъ * изъ подъ сверла) . 100 частей

---

* конечно, мелкихъ.

Для болѣе медленно твердѣющей замазки рекомендуется

3). Нашатыря въ порошкѣ . . . . . 2 части
Сѣрнаго цвѣта . . . . . 1 часть
Желѣзныхъ стружекъ изъ подъ сверла . . . . . 200 частей

Иногда берутъ и бо́льшее процентное содержаніе нашатыря; такъ, напр., Гаузбрандъ рекомендуетъ такой составъ ржавой замазки:

4). Нашатыря . . . . . отъ 1 до 2 частей
Сѣрнаго цвѣта . . . . . 1 часть
Желѣзныхъ опилокъ . . . . . 100 частей.

Но при болѣе значительныхъ содержаніяхъ нашатыря является опасность разрыва раструба, и потому злоупотреблять этимъ не слѣдуетъ.

При изготовленіи дрязги по рецептамъ 2, 3 и 4 слѣдуетъ массу нѣсколько смочить водою, чтобы привести ее въ тѣстообразное состояніе. Хорошо также прибавить нѣсколько капель сѣрной или уксусной кислоты. *Barber* настоятельно совѣтуетъ также *подогрѣть* массу во время ея перемѣшиванія.

Дрязга долго сохраняться не можетъ и ее слѣдуетъ употреблять въ дѣло немедленно послѣ изготовленія.

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что желѣзныя опилки или стружки должны быть *совершенно освобождены отъ всякаго масла и жиру*; для этой цѣли ихъ лучше всего прокалить въ огнѣ, нагрѣвъ до красна.

Это рецепты дрязги для водопроводныхъ и канализаціонныхъ трубъ. Для трубъ водяного отопленія рекомендуется слѣдующій составъ:

5). Свинцоваго глета . . . . . 1 часть
Извести . . . . . 2 части
Серебрянаго песку (Silver sand) . . . . . 3 части.

Это надо смѣшать съ прокипяченымъ льнянымъ масломъ (олифой) такъ, чтобы получилась тѣстообразная масса. Подъ эту дрязгу слѣдуетъ класть забивку изъ плетенки.

Части во всѣхъ рецептахъ указаны **по вѣсу**, а не по объему.

Для того, чтобы во время отвердѣванія набитой въ раструбъ дрязги, въ особенности если она была предварительно подогрѣта, не лопнулъ бы отъ ея расширенія раструбъ, полезно обматывать его временно потуже цѣпью, или даже усилить надѣтымъ на него желѣзнымъ кольцомъ.

Тамъ, гдѣ свинецъ дорогъ (въ глухихъ мѣстностяхъ, колоніяхъ и т. п.) дрязга и теперь оказываетъ большія услуги и примѣняется не только для водопроводныхъ, но даже и для *паро*проводныхъ трубъ до 8 дюймовъ діаметромъ, при давленіяхъ не свыше 4 атмосферъ. Для паровыхъ трубъ раструбъ надо дѣлать очень глубокимъ, не меньше 3 дюймовъ глубины для самыхъ маленькихъ трубъ (отъ $1^1/_2$ дюйма въ діаметрѣ) и до 7 дюймовъ глубины для трубъ 8 дюймовъ въ діаметрѣ.

Дрязга для высокой температуры дѣлается слѣдующимъ образомъ. Смѣшиваютъ чугунныя опилки или желѣзныя опилки (которыя должны быть чистыми, не заржавѣвшими) съ жирной глиной, измельченной въ порошокъ и затѣмъ смачиваютъ эту смѣсь уксусомъ или водой съ примѣсью кислоты. Дрязгу забиваютъ на мѣсто конопаткой (мушкелемъ).

Въ Англіи и особенно въ Америкѣ встрѣчается забивка раструба деревянными клиньями. Это самая старая система, которая была примѣнена на первыхъ водопроводныхъ трубахъ съ раструбами, много десятковъ лѣтъ тому назадъ. Однако, и въ настоящее время многіе Американскіе инженеры считаютъ эту систему самой луч-

шей. Такъ, на Собраніи Водопроводной Ассоціаціи въ Новой Англіи въ 1900 году инженеръ Wm. Murdoch сообщалъ, что 12-дюймовыя трубы съ забивкой раструбовъ деревомъ, уложенныя въ St. John еще его отцомъ въ 1851 году, работаютъ вполнѣ удовлетворительно. Въ 1857 году уложены были съ такой же забивкой трубы діаметромъ въ 24 дюйма. Въ 1873 году были положены еще такія же трубы, гдѣ въ одной линіи имѣлись заливки свинцомъ, деревянные клинья и точеные коническіе раструбы (см. далѣе). Изъ всѣхъ способовъ заполненія лучшимъ признаны были деревянные клинья.

Докладчикомъ были показаны образцы деревянныхъ клиньевъ, вынутыхъ изъ раструбовъ 12- и 24-дюймовыхъ трубъ послѣ 40 и 45 лѣтъ работы; клинья были найдены почти въ безукоризненномъ состояніи. При укладкѣ тамъ же новой 24-дюймовой линіи въ 1899 году были опять примѣнены деревянные клинья.

Эти клинья или клепки дѣлались изъ бѣлой сухой сосны, свободной отъ сучьевъ, смолы и трещинъ. Клепки забиваются туго въ раструбъ и затѣмъ еще расклиниваются между собою. Герметичность забивки пробуется водою. Только тамъ, гдѣ этого сдѣлать почему либо нельзя, дѣлаютъ заливку свинцомъ; ее дѣлаютъ также и тамъ, гдѣ трубы слишкомъ открыты или вокругъ нихъ такъ тѣсно, что нельзя забить клинья.

Кромѣ долговѣчности и дешевизны деревянное заполненіе имѣетъ еще одно весьма цѣнное свойство—оно ослабляетъ разлагающее электролитическое дѣйствіе на трубы со стороны различныхъ токовъ, идущихъ по лежащимъ въ землѣ кабелямъ, слишкомъ хорошо знакомое водопроводнымъ инженерамъ.

Относительно заполненія раструба резиновыми кольцами и относительно раструбовъ, хотя и заливаемыхъ свинцомъ, но имѣющихъ коническую приточку, подробно сказано далѣе, въ отдѣлѣ о чугунныхъ трубахъ.

Подробнѣе о раструбныхъ устройствахъ будемъ говорить при разсмотрѣніи чугунныхъ трубъ. Теперь же переходимъ къ соединеніямъ флянцами, о которыхъ придется здѣсь сказать довольно много.

§ 41. Общія соображенія относительно устройства и конструированія флянцевъ. Разсмотримъ здѣсь общія соображенія относительно конструированія флянцевъ, прилагающіяся одинаково ко всѣмъ трубамъ, изъ какого бы матеріала онѣ не состояли.

Важнѣйшими условіями, вліяющими на выборъ формы и размѣровъ флянцевъ и ихъ принадлежностей (болтовъ, прокладокъ и пр.), являются тѣ же два соображенія, съ которыми мы уже встрѣчались и раньше, именно—*прочность* и *герметичность*.

Разсмотримъ сперва вопросъ о **прочности** флянцевъ.

Здѣсь надобно различать три случая:

1). Флянцы составляютъ *одно цѣлое съ трубой,* будучи изготовлены одновременно съ ней изъ одного и того же куска матеріала.

2). Флянцы изготовляются *отдѣльно отъ трубы* (разновременно съ ней) и затѣмъ уже скрѣпляются со стѣнками трубы такимъ образомъ, чтобы они работали по мѣрѣ возможности такъ же, какъ работали бы и флянцы, изготовленные вмѣстѣ съ трубой изъ одного куска.

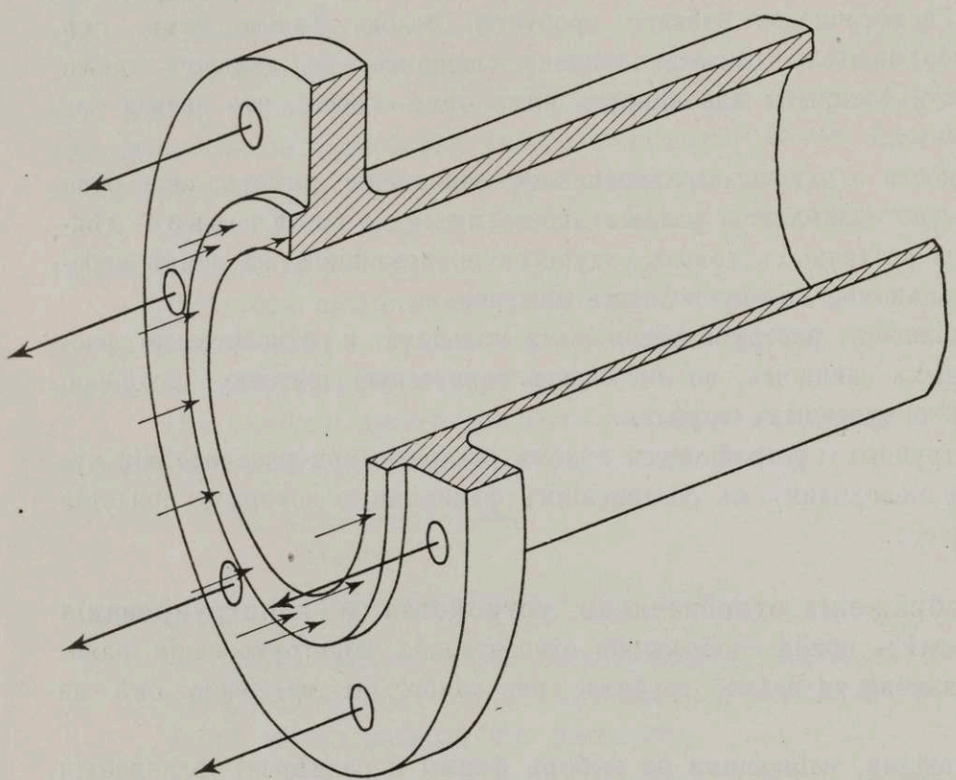
3). *Вольные* флянцы, *свободно надѣтые на трубы* и цѣпляющіеся за кольцевые выступы, сдѣланные на оконечностяхъ этихъ послѣднихъ.

Разсмотримъ сперва флянцы **перваго рода.**

Въ огромномъ большинствѣ случаевъ такіе флянцы получаются только въ томъ случаѣ, когда сама труба является на свѣтъ путемъ *отливки* ея изъ расплавленнаго

металла; таковы трубы чугунныя и изъ стальнаго литья *, бронзовыя и латунныя трубы. Въ этихъ трубахъ флянецъ формуется и отливается одновременно съ трубой, образуя съ ней одинъ цѣльный однородный кусокъ матеріала.

Для того, чтобы выяснить вопросъ о прочности флянца, возьмемъ два флянца смежныхъ трубъ, свернутые, какъ извѣстно, болтами. Отнимемъ, какъ это и всегда дѣлается въ такихъ случаяхъ одну трубу, положимъ, лѣвую, и перерѣжемъ мысленно и болты, замѣнивъ дѣйствіе всѣхъ этихъ удаляемыхъ деталей на правую трубу соотвѣтствующими силами. Именно, мы должны, чтобы равновѣсіе правой трубы не нарушилось, приложить къ каждому болту по оси его силу растяженія V (предполагаемъ, что изгиба въ болтахъ нѣтъ, что они нагружены центрально), которую мы считаемъ пока одинаковой во всѣхъ болтахъ (т. е. предполагаемъ, что всѣ болты нагружены одинаково), и затѣмъ на плоскости (или, въ болѣе общемъ случаѣ, на поверхности) прикосновенія флянцевъ (или выступовъ на нихъ, что̀ и предположено на рисункѣ) приложить напряженія смятія, имѣющія мѣсто между флянцами, если они прикасаются непосредственно, или между флянцемъ и прокладкой, если таковая имѣется; эти напряженія тоже считаемъ пока одинаковыми во всѣхъ мѣстахъ поверхности прикосновенія (чер. 71).



Чер. 71.

Еще какихъ либо силъ—нѣтъ.

Такимъ образомъ мы видимъ, что флянецъ нашъ нагруженъ системой сосредоточенныхъ силъ (натяженія болтовъ) и системой равномѣрно распредѣленныхъ силъ (напряженія смятія) и ясно, что подъ дѣйствіемъ всѣхъ этихъ силъ флянецъ стремится:

1). *Срѣзаться* по поверхности цилиндра съ діаметромъ, равнымъ наружному діаметру трубы, если флянецъ круглый, или по части этой поверхности, если флянецъ овальный или имѣетъ видъ узкаго ушка.

2). *Сломаться*; но въ какомъ сѣченіи (AB или AC или DE, чер. 72), и на какой части своей окружности—этого мы сказать не можемъ.

На эти два напряженія, изъ которыхъ болѣе опаснымъ будетъ, какъ это и всегда бываетъ, напряженіе на изгибъ, и слѣдовало бы расчитать флянецъ и изъ этого расчета опредѣлить его прочные размѣры, напр. толщину при заданной ширинѣ.

---

* Слѣдуетъ, по прекрасному примѣру Баха, строго различать, какими нибудь особыми названіями, два матеріала, очень различные по своимъ свойствамъ, именно:

стальное литье (по нѣмецки—Stahlguss)

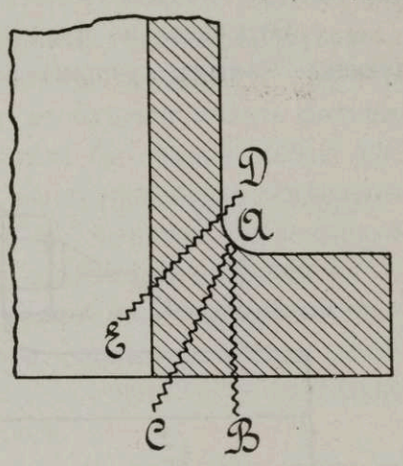
и

литую сталь (по нѣмецки—Gussstahl или Flussstahl).

См. подробно объ этомъ въ „Деталяхъ Машинъ“ Баха.

Но такой расчетъ представляетъ уже значительныя затрудненія для нашего ученія о Сопротивленіи Матеріаловъ и въ практикѣ обыкновенно не дѣлается. Безъ него обходятся въ большинствѣ случаевъ благодаря тому, что практика выработала для *обычныхъ условій работы* и *обычнаго расположенія болтовъ* нѣкоторыя данныя, которыми и пользуются.

Пользованіе такими практическими размѣрами не представляетъ затрудненій и не ведетъ (конечно, все таки при разумномъ отношеніи къ дѣлу) къ непріятностямъ потому, что въ практикѣ мы имѣемъ дѣло съ большимъ однообразіемъ нѣкоторыхъ обстоятельствъ устройства флянцевъ. Такъ, мы вездѣ встрѣчаемъ почти исключительно или флянцы круглые, примыкающіе къ трубѣ по всей окружности (иногда же флянецъ бываетъ квадратный или треугольный) или же флянцы овальные, гдѣ часть окружности трубы не связана съ флянцемъ. Но какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ стараются, для уменьшенія плеча силы, ставить болты какъ можно ближе къ трубѣ; затѣмъ, при круглыхъ флянцахъ разстояніе между болтами берется всегда довольно малымъ (не превышая никогда 150—170 mm) для полученія достаточной герметичности. Все это ведетъ къ тому, что главными перемѣнными, отъ которыхъ непосредственно зависитъ абсолютная толщина флянца, будутъ: діаметръ трубы D и удѣльное давленіе въ ней p. Но практика даже и эти оба фактора какъ бы сливаетъ вмѣстѣ и даетъ толщину флянца въ зависимости только отъ одной функціи этихъ обоихъ перемѣнныхъ, именно отъ *толщины стѣнки трубы*, различая все таки, впрочемъ, еще и давленія: *небольшое* (не свыше 15—20 atm) и *значительное* (около 60—70 atm). При болѣе же высокихъ давленіяхъ обычные практическіе размѣры не годятся.



Чер. 72.

Наиболѣе надежные и обычные практическіе соотношенія, опредѣляющіе толщину цѣльныхъ флянцевъ Δ въ зависимости отъ толщины стѣнки трубы δ, таковы:

для *круглыхъ* (и *квадратныхъ*) флянцевъ, при давленіяхъ не свыше 20atm,

$$\Delta = 1{,}2\,\delta \text{ и до } 1{,}3\,\delta \text{ (иногда даже и до } 1{,}5\,\delta\text{, а } Barber \text{ совѣтуетъ даже } \Delta = 2\,\delta) \ldots\ldots\ldots (66).$$

вообще, тѣмъ больше, чѣмъ выше давленіе и чѣмъ меньше діаметръ трубы;

для *овальныхъ* флянцевъ съ двумя болтами, при давленіяхъ не свыше 60—70atm

$$\Delta = \sim 3\,\delta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (67).$$

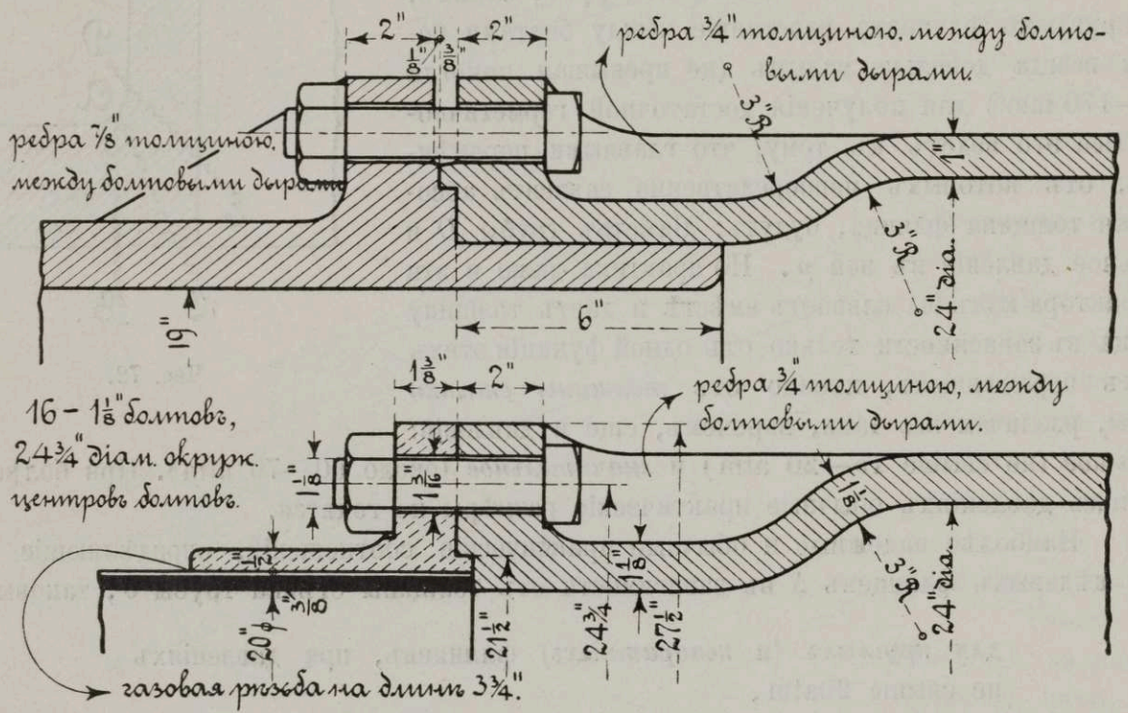
Эти соотношенія подтверждаются многочисленными числовыми примѣрами толщинъ флянцевъ, приведенными въ Атласѣ; на этихъ примѣрахъ видны также и нѣкоторыя отступленія отъ приведенныхъ относительныхъ размѣровъ. Такіе примѣры для цѣлыхъ серій трубъ имѣются на слѣдующихъ таблицахъ Атласа: 61, 70, 71, 75, а для отдѣльныхъ трубъ примѣры разсѣяны по всему Атласу. Настоятельно совѣтуемъ учащимся техникамъ и молодымъ инженерамъ продѣлать хотя бы одинъ опытъ личной провѣрки относительныхъ размѣровъ, или выведенія изъ ряда числовыхъ данныхъ своей собственной формулы для нихъ. Такое упражненіе, которое, къ сожалѣнію, нигдѣ и никогда въ нашихъ высшихъ и среднихъ техническихъ школахъ не дѣлается, чрезвычайно полезно для учащихся, которыхъ профессора Математики, обладающіе, по

закону, „ученой степенію“, но не имѣющіе ни малѣйшаго понятія о томъ, что̀ нужно изъ Математики знать инженеру или даже среднему технику, совершенно не знакомятъ съ простѣйшими методами интерполяціи, какъ аналитической, такъ и графической *.

На табл. 73 приведены формулы Англійскаго инженера *Croydon Marx*, извѣстнаго спеціалиста по гидравлическимъ работамъ, гдѣ толщина флянца ставится въ зависимость отъ діаметра болта, т. е. косвенно, отъ нагрузки на него, что̀ имѣетъ свое основаніе.

При большихъ трубахъ и при значительныхъ давленіяхъ слѣдуетъ еще усиливать флянцы при помощи *реберъ*, располагаемыхъ между болтами, какъ это видно, напр., на фиг. 1, тб. 63; фиг. 16—18, тб. 64; фиг. 1—2, тб. 69; фиг. 9, тб. 76; фиг. 20, тб. 99 и т. д.

Относительно формы, или, вѣрнѣе, очертанія реберъ необходимо замѣтить слѣдующее. Самымъ лучшимъ и солиднымъ въ смыслѣ крѣпости, а также и наиболѣе про-



Чер. 73. (Штриховки *Атласа*).

стымъ для изготовленія является *прямое* ребро, очерченное снаружи по прямой линіи; такія ребра видимъ на табл. 69, фиг. 1—2, на табл. 100 и на чер. 73; неудобство этихъ реберъ состоитъ въ томъ, что при маломъ разстояніи между болтами ребра мѣшаютъ ключу, которымъ надо завертывать гайки болтовъ. Для устраненія этого недостатка принимаютъ форму реберъ, показанную на табл. 64, фиг. 16—18 и на табл. 76,

---

* Чрезвычайно характерно и поучительно письмо, полученное мною нѣсколько лѣтъ тому назадъ отъ ученика послѣдняго класса одного изъ среднихъ техническихъ училищъ (внѣ Москвы). Выписавъ отъ меня 1-ю часть Атласа Деталей Машинъ, онъ былъ удивленъ тѣмъ, что въ ней почти нѣтъ относительныхъ размѣровъ, которые играли такую большую роль въ преподаваніи въ ихъ школѣ. Въ отвѣтъ на это я объяснилъ ему, что въ настоящее время относительные размѣры почти отжили свой вѣкъ, что въ пользованіи ими надо быть осторожнымъ и кстати тутъ же я вкратцѣ указалъ, какъ изъ ряда числовыхъ данныхъ выводятся эмпирическія формулы, напр. формула для относительныхъ размѣровъ. „Если“ писалъ я „васъ учили и Аналитической Геометріи, то Вы подберете для описаннаго мною примѣра уравненіе прямой и пр.“. Въ отвѣтѣ мой корреспондентъ пишетъ: „Ваше письмо было для меня откровеніемъ... Да, насъ учили и Аналитической Геометріи и многому другому, но, къ сожалѣнію, никто не показалъ намъ, какъ все это приложить къ дѣлу“.

Сколько можно бы собрать такихъ примѣровъ!

фиг. 9 и на табл. 99, фиг. 20; но противъ этой формы многіе инженеры возражаютъ въ томъ смыслѣ, что, благодаря своей малой высотѣ у наружной окружности флянца, такое ребро усиливаетъ флянецъ лишь въ очень слабой степени. Для того, чтобы соединить и удобство свободной работы ключемъ и достаточную прочность флянца, наиболѣе раціональнымъ является сложное очертаніе ребра, которое мы видимъ на табл. 63, составленное изъ двухъ дугъ круга, которыя всегда можно выбрать такъ, чтобы имѣлись: и достаточно мѣста для работы ключемъ и необходимая жесткость ребра, нужная для усиленія флянца.

Примѣръ прекрасныхъ, солидныхъ флянцевъ съ хорошими ребрами приведенъ на чер. 73.

Кромѣ прочности флянца на изломъ необходимо при его конструированіи имѣть въ виду еще и *герметичность* соединенія. Если флянцы будутъ тонки, то они будутъ сильно деформироваться, прогибаться между болтами и соединеніе будетъ пропускать, появится течь. Можетъ случиться такъ, что флянецъ на изломъ проченъ, а прогибъ его такъ великъ, что соединеніе будетъ пропускать. Поэтому, необходимо дѣлать флянцы настолько толстыми, чтобы они и были прочны и не пропускали бы между собою содержимаго трубы наружу (или наоборотъ, не пускали бы въ трубопроводъ внѣшняго воздуха и пр.). Опредѣленіе такихъ „герметичныхъ“ размѣровъ флянцевъ совершенно не поддается теоріи и они вырабатываются практикой. При составленіи формулъ (66), (67), формулъ Croydon Marx (на табл. 73) и другихъ подобныхъ имъ принято во вниманіе и условіе герметичности соединенія флянцами, такъ что флянцы, толщины которыхъ взяты по этимъ формуламъ, обладаютъ и достаточною прочностію и настолько малымъ прогибомъ, что не текутъ, если прокладки въ порядкѣ.

Кромѣ толщины флянца на прогибъ его вліяетъ еще и то, какъ приложена къ нему нагрузка отъ болтовъ? Чѣмъ тоньше будутъ болты и чѣмъ ихъ будетъ больше, тѣмъ ближе будутъ стоять они другъ къ другу и тѣмъ прогибъ флянца между болтами будетъ менѣе. Поэтому, болты не дѣлаютъ очень толстыми, а берутъ ихъ довольно тонкими и число ихъ довольно значительнымъ, такъ чтобы разстояніе между двумя смежными болтами было бы, обыкновенно, *не болѣе пяти діаметровъ болта* и во всякомъ случаѣ, никакъ не болѣе 200mm. Исключеніе составляютъ овальные флянцы.

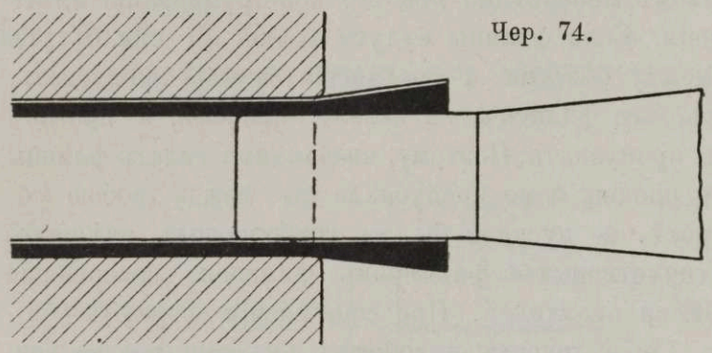
Сказанное здѣсь относительно вліянія прогиба на герметичность флянца, составляющаго одно цѣлое съ трубой, относится и къ другимъ видамъ флянцевъ.

Иногда для предупрежденія чрезмѣрнаго затягиванія болтовъ и опасности излома флянца, устраиваютъ *задержки*, препятствующія рабочему черезъчуръ сильно затягивать болтъ. Такая задержка (въ видѣ колечка, надѣтаго на болтъ) видна на фиг. 1 табл. 70, для круглаго флянца; наиболѣе обычны задержки при овальныхъ флянцахъ (трубы гидравлической передачи съ давленіями 50—70 atm); онѣ видны: на фиг. 8—9 и 10—11 табл. 70 (возвышенія на оконечностяхъ флянцевъ); на табл. 67, фиг. 17; на табл. 69, фиг. 9. Если расчитываютъ на надлежащее устройство такой задержки, которая уменьшаетъ сгибающій моментъ, дѣйствующій на флянецъ, то толщину флянца берутъ иногда и меньше, нежели Δ; сравнить табличку размѣровъ на табл. 70! Но для того, чтобы можно было полагаться на такую помощь задержки, необходимо, чтобы высота ея конструкторомъ была строго сообразована съ будущимъ наибольшимъ допустимымъ прогибомъ флянца, и чтобы въ мастерской такая высота задержекъ и вообще всѣ размѣры флянцевъ и прокладокъ весьма точно бы соблюдались; если увѣренности въ этомъ нѣтъ, то лучше при опредѣленіи прочности флянца не обращать никакого вниманія на помощь, оказываемую задержками, хотя бы таковыя и имѣлись.

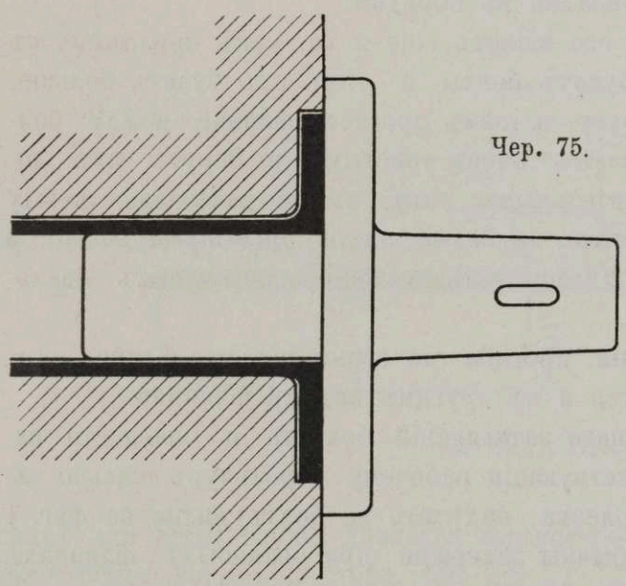
Случаевъ, гдѣ флянцы составляютъ одно цѣлое съ трубой, получаемой не отливкой, а иными способами, т. е. съ трубой не литой, а сварной, прокатной, тянутой и т. п., очень немного. Я могъ отыскать лишь единственный примѣръ, приведенный на

табл. 112 Атласа, фиг. 2—8. Но такой примѣръ не заслуживаетъ подражанія; понятно, что такое устройство, какъ показано здѣсь, гдѣ флянцы образованы просто отгибомъ или откладываніемъ закраинъ на трубѣ и никакихъ другихъ, надѣвныхъ флянцевъ не имѣется, такъ что толщина флянцевъ равна толщинѣ стѣнокъ трубы, допустимо только въ томъ случаѣ, когда продольная сила, дѣйствующая вдоль оси трубы, сравнительно незначительна и, слѣдовательно, болты нагружены очень слабо, и потому, какъ напряженіе на изгибъ флянца, такъ и прогибъ его—незначительны и не надобно, поэтому, опасаться ни за прочность флянца, ни за сильный прогибъ его между болтами. Но такіе случаи въ практикѣ очень рѣдки и устройство это не заслуживаетъ подражанія, а слѣдуетъ всегда устраивать соединенія желѣзныхъ и мѣдныхъ трубъ такъ, что отложенные на нихъ флянчики или закраины дѣлаются какъ можно короче (по радіальному направленію), лишь бы за нихъ можно было зацѣпиться надѣвными, уже толстыми и солидными флянцами; при такой малой ширинѣ отложенные флянцы въ состояніи безопасно выдержать сгибающій ихъ моментъ, происходящій къ тому же отъ равномѣрной нагрузки надѣвнымъ, вольнымъ флянцемъ; сами же эти флянцы, выдерживающіе нагрузку отъ сосредоточенныхъ силъ,—натяженій болтовъ,—могутъ уже быть сдѣланы сколь угодно прочными. Подобныя конструкціи видны, напр. на фиг. 8, 10 и 11 табл. 76 и объ нихъ подробно будетъ говорено далѣе.

Чер. 74.



Чер. 75.



Въ Атласѣ есть еще и другой примѣръ желѣзной (стальной) трубы, составляющей одно цѣлое съ флянцами, именно на фиг. 8—9 табл. 80. Но этотъ примѣръ не можетъ считаться образцомъ, пригоднымъ для ежедневнаго употребленія. Это спеціальная, гибкая труба и лишь ради полученія таковой приходится прибѣгать къ весьма дорогому процессу, которымъ получается такая труба и который позволяетъ кстати ужъ сдѣлать и флянцы изъ одного куска съ трубой.

Слѣдуетъ сказать, что въ литературѣ встрѣчаются указанія и еще на нѣкоторые способы изготовленія за одно цѣлое флянцевъ съ трубами въ томъ случаѣ, если трубы (и, конечно, флянцы) желѣзныя или стальныя. Но по вопросу — насколько подобные флянцы распространены въ практикѣ? — указаній, къ сожалѣнію, не имѣется. Одинъ изъ такихъ способовъ мы вкратцѣ опишемъ здѣсь. Флянецъ получается путемъ осаживанія и откладки раскаленнаго конца трубы. Способъ принадлежитъ Англійской фирмѣ Howell and Co., въ Шеффильдѣ и состоитъ въ слѣдующемъ.

Имѣется сильный гидравлическій прессъ съ двумя цилиндрами, вертикальнымъ и горизонтальнымъ. Вертикальный цилиндръ служитъ для удержанія вещи во время работы, а горизонтальный—собственно для прессованія самого флянца. Берется труба, желѣзная или стальная; она можетъ быть или сварная, или цѣльнотянутая, это все

равно. Первая операція состоитъ въ томъ, чтобы получить на концѣ трубы утолщеніе, которое видно на чер. 74. Оно получается посредствомъ разогрѣванія конца трубы до сварочнаго жара и прессованія его въ штампѣ соотвѣтствующей формы. Внутри конецъ трубы остается при этой первой операціи цилиндрическимъ, а снаружи принимаетъ коническую форму. Затѣмъ труба съ этимъ утолщеніемъ вставляется въ держалку, которая охватываетъ ее плотно на цилиндрической части, доходя какъ разъ до начала выштампованнаго уже конуса, что и показано на чер. 74. Теперь внутрь трубы вставляютъ оправку, состоящую изъ цилиндрической и конической частей; при вставкѣ начало конуса оправки доходитъ до начала трубы. Затѣмъ прессомъ вгоняютъ эту оправку во внутрь трубы и тогда конусъ оправки влѣзаетъ въ утолщенный конецъ трубы и раздаетъ его, утоняя его стѣнки. Когда такимъ образомъ положено уже начало образованію флянца, берутъ второй инструментъ, имѣющій цилиндрическую часть, соотвѣтствующую опять внутреннему діаметру трубы и на ней тарелкообразный плоскій заплечикъ, что ясно видно на чер. 75. Этой оправкой производятъ опять прессовку, во время которой цилиндръ, какъ и при первой прессовкѣ, поддерживаетъ трубу круглой и мѣшаетъ ей исказиться, а тарелка въ концѣ концовъ выпрессовываетъ флянецъ, вгоняя матеріалъ въ соотвѣтствующую выточку новой держалки. Вся операція по сути дѣла проста, но, конечно, требуетъ снаровки, какъ и всякая штамповка.

При помощи этого способа удобно получать флянцы не особенно толстые по сравненію съ трубой, напр. раза въ 1,5 толще ея. Для полученія толстыхъ флянцевъ вмѣсто высаживанія толстаго конуса является болѣе дешевымъ прилить стальное кольцо къ концу стальной трубы и затѣмъ уже штамповать какъ описано выше.

Насколько этотъ способъ распространенъ въ практикѣ—мнѣ неизвѣстно.

Еще болѣе краткія свѣдѣнія имѣются въ журналѣ „Engineering News“ за 1899 годъ о подобномъ же способѣ полученія флянцевъ съ тою лишь разницею, что послѣ высадки на концѣ трубы цилиндрическаго утолщенія она помѣщается въ особую машину вродѣ самоточки и приводится въ быстрое вращеніе, а въ нее гидравлическимъ прессомъ вгоняется оправка конической формы; металлъ разогрѣвается такъ сильно, что какъ бы течетъ (?) и получается прекрасный флянецъ.

По словамъ автора упомянутой статьи опыты дали прекрасные результаты и будто бы приступлено было къ постройкѣ машины для полученія флянцевъ на трубахъ до 8 дюймовъ діаметромъ. Дальнѣйшихъ подробностей я въ журналахъ не нашелъ и не могу отдѣлаться отъ сомнѣнія въ пригодности этого способа для практики.

Теперь перейдемъ къ разсмотрѣнію флянцевъ **второго рода**, когда флянцы изготовляются отдѣльно отъ трубы и затѣмъ скрѣпляются съ ея стѣнками такъ, чтобы они, по мѣрѣ возможности, работали бы такъ же, какъ работали бы флянцы, изготовленные вмѣстѣ съ трубою изъ одного куска.

Такіе случаи встрѣчаются когда соединяютъ трубы, изготовляемыя такими процессами, при которыхъ полученіе флянцевъ одновременно съ трубой и изъ одного съ нею куска металла, весьма затруднительно, напр. помощію прокатки, сварки, вытяжки изъ цѣлой болванки и пр. Это бываетъ при трубахъ желѣзныхъ (и стальныхъ), мѣдныхъ, свинцовыхъ, латунныхъ и т. п. Способы, при помощи которыхъ флянцы могутъ быть скрѣплены съ трубой, весьма разнообразны. Перечислимъ главнѣйшіе.

При клепаныхъ изъ желѣзныхъ, стальныхъ и мѣдныхъ листовъ трубахъ обыкновенно и флянцы тоже скрѣпляютъ съ трубами при помощи **заклепокъ**; примѣры этому видны на табл. 78, фиг. 7; табл. 81, фиг. 8, 24, 25, 26 и 18—19; табл. 85, фиг. 4, 7, 9 и 12; табл. 91, фиг. 17—21; таб. 92, фиг. 2 и 5; табл. 93, фиг. 2—16; табл. 94, фиг. 2, 6, 17, 18, 19 и др. Въ нѣкоторыхъ изъ этихъ примѣровъ флянецъ, кромѣ приклепки, еще и припаивается, но пока на это не будемъ обращать вниманія, считая эту припайку лишь какъ бы предохранительнымъ средствомъ.

Понятно, что при этой конструкціи тарелкообразная часть флянца, лежащая между плоскостями, перпендикулярными къ оси трубы, т. е. часть флянца, пронизан-

ная болтами, работаетъ совершенно (или, почти совершенно) такъ же, какъ работаетъ и соотвѣтствующая часть литого флянца; правда, есть небольшая разница въ томъ, что тарелка литого флянца является ущемленной непрерывно по всей своей окружности, а тарелка приклепаннаго флянца является закрѣпленной лишь въ нѣсколькихъ точкахъ, именно тамъ, гдѣ она прикрѣплена заклепками. Но это вліяетъ на прочные размѣры тарелки сравнительно немного, и потому, для опредѣленія толщины Δ тарелки въ практикѣ пользуются тѣми же практическими формулами, дающими толщину флянца въ зависимости отъ толщины стѣнки (предполагая то и другое изъ *одинаковаго* матеріала; если бы флянецъ былъ изъ другого матеріала, то толщину его, понятно, нужно было бы взять въ зависимости отъ фиктивной толщины стѣнки изъ такого же матеріала, какъ онъ самъ, высчитанной для условій работы нашей трубы), т. е. берутъ толщину флянца:

для *круглыхъ* и *квадратныхъ* флянцевъ, при давленіяхъ не свыше 20atm,

$$\Delta = 1{,}2\,\delta \text{ и до } 1{,}3\,\delta \text{ (иногда и до } 1{,}5\,\delta) \quad \ldots\ldots\ldots (68),$$

а при высокихъ давленіяхъ берутъ и болѣе;

для *овальныхъ* флянцевъ съ двумя болтами, при давленіяхъ не свыше 60—70atm (и до 100atm)

$$\Delta = \sim 3\,\delta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (69).$$

Приведенные въ Атласѣ примѣры, перечисленные на стр. 109, позволяютъ видѣть, насколько въ практикѣ придерживаются указанныхъ здѣсь соотношеній.

Что касается другой части флянца, именно той его части, которая обнимаетъ трубу и приклепывается къ ней (эта часть называется муфтой, втулкой или горломъ флянца), то расчетъ ея представляетъ значительныя затрудненія и въ практикѣ никогда не производится; приходится и здѣсь довольствоваться тѣмъ, что̀ выработано практикой. Въ большинствѣ случаевъ, особенно, если флянцы сдѣланы изъ угловаго желѣза, толщина втулки берется равной толщинѣ тарелки; иногда же она бываетъ и менѣе, особенно тамъ, гдѣ втулка, сверхъ приклепыванія, еще и припаяна къ трубѣ; примѣры этому см. въ Атласѣ на указанныхъ фигурахъ, въ особенности на табл. 92.

Второй способъ скрѣпленія флянцевъ съ трубами есть **припаиваніе** флянца къ трубѣ по всей окружности втулки, безо всякихъ заклепокъ. Этотъ способъ скрѣпленія примѣняется преимущественно при *мѣдныхъ* трубахъ небольшого діаметра и проводящихъ жидкость подъ небольшимъ давленіемъ. Примѣры такихъ флянцевъ видны на табл. 92, фиг. 1, 3 и 4. Правда, и здѣсь мы имѣемъ припаиваніе не въ чистомъ видѣ; на концѣ трубы сдѣланъ еще и отгибъ, или откладываніе бортика; но этотъ отгибъ содѣйствуетъ скрѣпленію флянца съ трубой лишь при дѣйствіи продольной силы; на сопротивленіе же флянца изгибу и вообще на его способность отдѣлиться отъ стѣнки подъ дѣйствіемъ натяженія болтовъ, этотъ отгибъ не оказываетъ, можно сказать, никакого вліянія. Такъ какъ такой спаянный съ трубой флянецъ работаетъ на изгибъ приблизительно такъ же, какъ и отлитый съ трубой въ одно цѣлое, то и его толщина (если бы обращать вниманіе исключительно на сопротивленіе его изгибу) подчинялась бы тѣмъ же формуламъ (68) и (69), причемъ опять подъ δ надо было бы разумѣть, если флянцы состоятъ изъ иного матеріала, нежели труба, фиктивную толщину стѣнки трубы, т. е. толщину стѣнки, сдѣланной изъ матеріала флянца. Но такъ какъ здѣсь приходится, кромѣ прочности самого флянца, принимать во вниманіе и сопротивленіе срѣзыванію припоя, которое довольно слабо, и другія второстепенныя соображенія, то въ практикѣ въ настоящее время, въ особенности для трубъ высокаго давленія, берутся гораздо бо́льшія толщины флянцевъ. Именно, флянцы для трубъ изъ красной

мѣди дѣлаются изъ бронзы и для паровыхъ мѣдныхъ трубъ высокаго давленія толщину бронзовыхъ флянцевъ $\Delta_б$ почти вездѣ берутъ такъ

$$\Delta_б = 4\,\delta_м \ldots\ldots\ldots (70),$$

гдѣ $\delta_м$ есть дѣйствительная толщина стѣнки мѣдной трубы.

Кромѣ того, чтобы при малыхъ трубахъ не получить слишкомъ сильнаго прогиба хотя бы и прочныхъ флянцевъ, принято толщину флянцевъ не дѣлать менѣе извѣстнаго предѣла, хотя бы вычисленіе по формулѣ (70) дало бы и меньшую толщину. Такъ, напр., Циркуляръ Русскаго Морского Техническаго Комитета требуетъ, чтобы толщина бронзовыхъ флянцевъ равнялась бы четверной толщинѣ стѣнки мѣдной трубы (т. е. согласенъ съ форм. 70) и чтобы

для трубъ съ діаметромъ менѣе 50mm	толщина флянца не дѣлалась бы менѣе 12,5mm, хотя бы вычисленіе по формулѣ $\Delta_б = 4\,\delta_м$ и давало бы меньшую величину;
для трубъ съ діаметромъ болѣе 50mm	толщина флянца не дѣлалась бы менѣе 16mm, хотя бы вычисленіе по формулѣ $\Delta_б = 4\,\delta_м$ и давало бы меньшую величину.

Это же правило относительно минимальной толщины флянца мы видимъ соблюденнымъ и на табл. 86 и 92.

Третій способъ непосредственнаго скрѣпленія флянцевъ со стѣнками трубъ есть **навертываніе на рѣзьбѣ**, къ которому иногда, для большей надежности, присоединяется еще и припаиваніе. Примѣры такихъ устройствъ приведены въ Атласѣ на табл. 76, фиг. 6; табл. 77, фиг. 4—5 (лѣвая труба); табл. 79, фиг. 1—4 и 5—6, а также фиг. 13—14; табл. 81, фиг. 9; табл. 83, фиг. 1—5; табл. 84, фиг. 3, 9 и 15 (лѣвая труба); табл. 88, фиг. 9—10 и 24—25.

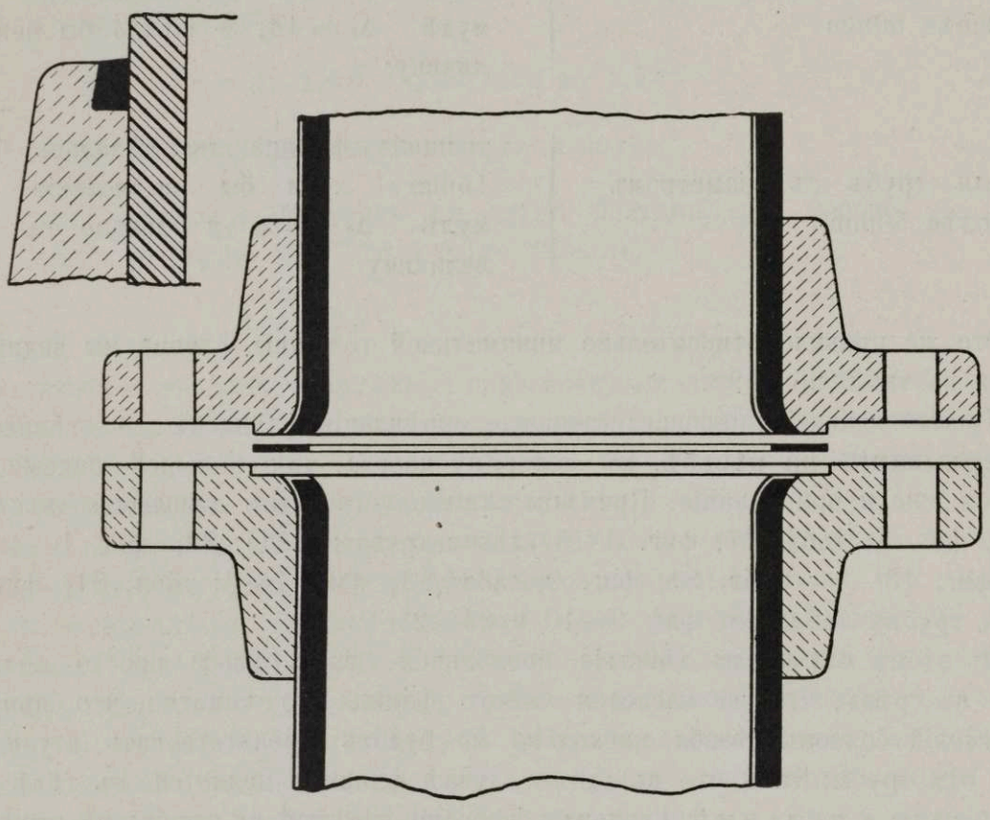
Въ этомъ случаѣ на дѣйствіе продольной силы рѣзьба просто должна быть расчитана на срѣзъ, что же касается самого флянца, то понятно, что при дѣйствіи силъ натяженій болтовъ рѣзьба нисколько не будетъ препятствовать втулкѣ флянца отставать отъ трубы, такъ что въ этомъ случаѣ флянецъ является въ тѣхъ же почти условіяхъ, какъ и вольный флянецъ, свободно надѣтый на трубу; на этомъ основаніи толщина тарелки должна была бы быть взята болѣе, нежели при приклепаныхъ и припаяныхъ флянцахъ, и скорѣе приближаться къ толщинѣ вольнаго или свободнаго флянца (см. далѣе). Однако, насколько мнѣ извѣстно, до сихъ поръ никто не обратилъ вниманія на это обстоятельство, и только въ Нормахъ Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ (табл. 84—87) такіе флянцы, какъ и слѣдуетъ быть, приравнены по условіямъ работы къ флянцамъ, свободно надѣтымъ на трубу и лишь раскаткой трубы держащимся на ней; условія работы такого флянца, собственно говоря, почти совершенно тѣ же, какъ и свободнаго флянца, только имѣющаяся на немъ втулка даетъ ему нѣсколько ббльшій модуль сопротивленія на изломъ и лишь поэтому толщина такого флянца выходитъ нѣсколько меньше, нежели толщина совершенно свободнаго флянца (сравнить изъ таблицы на табл. 86 Атласа размѣры e и g_1!).

Четвертый способъ закрѣпленія флянцевъ есть **развальцовка** или **раскатка** ихъ. Примѣры такого устройства имѣются на табл. 78, фиг. 8; табл. 83, фиг. 11—12; табл. 84, фиг. 4—5, 10—11, 16—17; табл. 89, фиг. 6; табл. 91, фиг. 27—28.

Идея этого скрѣпленія до нѣкоторой степени сходна съ закрѣпленіемъ флянцевъ при помощи навинчиванія ихъ на рѣзьбѣ. И при раскаткѣ, на внутренней поверхности флянцевъ дѣлаютъ углубленія или канавки, чаще всего круглыя, наиболѣе легко

получаемыя на токарномъ станкѣ; въ эти углубленія втискивается потомъ, во время раскатки, матеріалъ трубы, такъ что всѣ углубленія заполняются имъ и на трубѣ образуются, выдавленные раскаткой, небольшія возвышенія, плотно втиснутыя въ углубленія флянца.

Въ смыслѣ сопротивленія дѣйствію продольной вырывающей силы такія возвышенія и углубленія работаютъ совершенно такъ же, какъ и двѣ рѣзьбы, сдѣланныя на трубѣ и во внутренности флянца, завитки которыхъ цѣпляются одинъ за другой и сопротивленіемъ своимъ срѣзу держатъ флянецъ на трубѣ. Совершенно такъ же работаютъ возвышенія трубы, выдавленныя раскаткой и промежутки, оставшіеся между выточками во флянцѣ. Строго говоря, *размѣры такого скрѣпленія слѣдовало бы расчитать совершенно такъ же, какъ опредѣляются наименьшіе размѣры винтовой нарѣзки, на срѣзъ и на смятіе;* но въ практикѣ этого не дѣлаютъ (и нельзя сказать, что это очень ужъ хорошо) и дѣлаютъ выточки во флянцѣ прямо на глазъ, придавая имъ



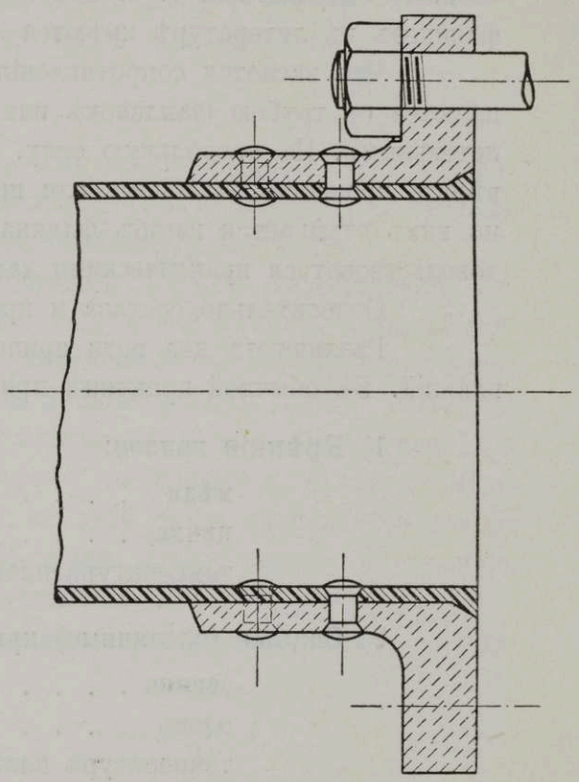
Чер. 76. (Штриховки *Атласа*).

очень малую радіальную глубину, иначе при раскаткѣ, все равно, не удастся вдавить въ нихъ матеріалъ трубы и излишняя глубина выточекъ пропадетъ безъ пользы. Даже въ такихъ разработанныхъ таблицахъ, какъ Нормы Нѣмецкихъ Инженеровъ (табл. 84—87) не дано никакихъ указаній относительно размѣровъ выточекъ. Поэтому, полезно помнить сказанное выше объ ихъ аналогіи съ винтовой рѣзьбой и дѣлать число выточекъ i и ширину ихъ b и промежутковъ b_1 такими, чтобы, какъ на флянцѣ, такъ и на трубѣ получалась бы поверхность, способная выдержать срѣзываніе полною продольною силою. На детальномъ чертежѣ фиг. 6, табл. 89 видно, что i сдѣлано равнымъ 3, b равно 2,5 и b_1 — 7 въ срединѣ и 6 на краяхъ. Что касается глубины, то она очень мала, но иначе и нельзя, ибо не раздашь такъ сильно матеріалъ трубы раскаткой; поэтому, понятно, напряженіе на смятіе будетъ очень велико. Но это не такъ страшно потому, что при раскатываніи стѣнки трубы такъ сильно прижимаются къ внутренней поверхности флянца, что между ними возбуждается значительное треніе, при помощи котораго и передается отъ трубы къ флянцу значительная часть продольной силы. Это же треніе обезпечиваетъ и герметичность подобныхъ скрѣпленій флянцевъ съ трубами.

Иногда въ помощь къ такимъ маленькимъ возвышеньицамъ, о которыхъ мы сейчасъ говорили и которыя образуются помощію раскатки въ среднихъ частяхъ трубы и флянца, присоединяютъ еще и загибы или откладки болѣе значительныхъ размѣровъ, которые, поэтому, возможно образовать раскаткою *лишь на концѣ трубы*. Такіе зубья болѣе значительныхъ размѣровъ видны на табл. 78, фиг. 8, и на табл. 91, фиг. 27. Какъ уже сказано раньше, такіе раскатанные зубья значительнаго размѣра дѣлаются не только при развальцованныхъ флянцахъ, но также и при приклепаныхъ, припаяныхъ и др. флянцахъ.

Уже когда настоящая глава была написана мнѣ пришлось познакомиться съ статьей Американскаго журнала, гдѣ приведены недавно выработанные детальные размѣры скрѣпленій флянцевъ съ трубами помощію развальцовки, размѣры выточекъ и пр. Эти новые данные приведены далѣе, при разсмотрѣніи желѣзныхъ трубъ.

Пятый способъ, сравнительно мало распространенный, есть посадка флянцевъ на трубу **въ горячемъ состояніи, съ относительной расточкой**. Примѣръ такого устройства показанъ на табл. 79, фиг. 7 и 8, для *желѣзныхъ* трубъ.



Чер. 77.

Понятно, что при четвертомъ и пятомъ способѣ, точно такъ же какъ и при третьемъ, труба нисколько не препятствуетъ изгибу тарелки флянца, и потому относительно толщины этой тарелки имѣетъ мѣсто все, сказанное раньше по отношенію къ способу третьему. Въ особенности толстыми рекомендуетъ дѣлать флянцы при посадкѣ ихъ въ горячемъ состояніи Нѣмецкій инженеръ A. S. Oesterreicher, построившій много такихъ флянцевъ; эта значительная толщина флянца необходима какъ для герметичности, такъ и для обезпеченія правильнаго положенія флянца на трубѣ.

Иногда для бо́льшей надежности конецъ трубы еще и раздаютъ или раскатываютъ, какъ это показано на чер. 76 (Американская конструкція для *желѣзныхъ* трубъ). При посадкѣ флянца его сажаютъ такъ, чтобы конецъ трубы выдавался немного за флянецъ, и затѣмъ раздаютъ этотъ конецъ трубы причемъ часть матеріала трубы входитъ въ расширеніе, выточенное на концѣ флянца, послѣ чего торецъ флянца протачивается. Иногда для достиженія еще бо́льшей герметичности дѣлаютъ во флянцѣ дорожку трапецоидальнаго сѣченія, какъ показано слѣва (въ увеличенномъ видѣ) и въ нее закладываютъ кольцо изъ мягкаго металла (напр. красной мѣди), которое затѣмъ расчеканиваютъ.

Вмѣсто посадки въ *горячемъ* состояніи съ относительной расточкой иногда примѣняютъ посадку тоже съ относительной расточкой, но производятъ самую посадку въ холодномъ состояніи, при помощи пресса. При этомъ способѣ тоже заставляютъ конецъ трубы выступать немного за посаженный флянецъ и затѣмъ раздаютъ (расчеканиваютъ) этотъ выступающій конецъ трубы на оправкѣ такимъ образомъ, чтобы онъ заполнилъ коническую расточку, сдѣланную на концѣ флянца, чер. 77. Иногда въ помощь скрѣпленію при помощи посадки ставятъ еще и заклепки, что̀ именно и показано на чер. 77 (Нѣмецкая конструкція для *желѣзныхъ* трубъ). Послѣ расчеканки торца горлышка и заклепокъ флянецъ обтачивается и въ немъ сверлятся дыры для болтовъ. Самые флянцы дѣлаются или изъ стального литья, или, еще лучше, прессованые изъ литого желѣза. Послѣ окончательной обдѣлки труба съ флянцемъ оцинковывается снаружи,

для того чтобы она не ржавѣла подъ изолирующей массой (рѣчь идетъ здѣсь о паропроводныхъ трубахъ). Оконечность трубы, на которую надѣвается прессомъ флянецъ, тщательно шлифуется, такъ чтобы получилась чистая металлическая поверхность. Полная расточка (разница діаметровъ) показана Uthemann'омъ, авторомъ статьи въ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, равной 0,2 mm, безъ указанія, къ сожалѣнію, діаметра трубъ. Надо думать, что рѣчь идетъ о трубахъ средняго діаметра.

Шестой способъ есть **сварка**. При этомъ способѣ, какъ и вообще при всякомъ хорошемъ свариваніи, матеріалы трубы и флянца соединяются настолько крѣпко, что флянецъ работаетъ совершенно такъ же, какъ будто бы онъ образовался одновременно съ трубой, составляя съ ней одно цѣлое, и поэтому толщина такихъ флянцевъ, при обычныхъ давленіяхъ, можетъ быть выбираема по тѣмъ же формуламъ, какъ и для флянцевъ, составляющихъ одно цѣлое съ трубой. Понятно, что способъ этотъ примѣняется лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда труба и флянецъ состоятъ изъ матеріаловъ, способныхъ свариваться, т. е. изъ желѣза или мягкой стали. Относительно работы такихъ флянцевъ въ литературѣ имѣются лишь самые лучшіе отзывы.

Что касается сопротивленія тѣхъ тѣлъ, при помощи которыхъ флянцы скрѣпляются съ трубою (заклепокъ или припоя), то расчетъ ихъ является довольно затруднительнымъ. На продольную силу, дѣйствующую вдоль трубопровода, еще можно провѣрить прочность заклепокъ или припоя, расчитавъ ихъ на срѣзъ. Опредѣлить же, какъ на нихъ отзывается изгибъ флянца—совершенно невозможно. Здѣсь тоже приходится довольствоваться практическими данными.

Относительно состава и прочности *припоевъ* можно замѣтить слѣдующее.

Различаютъ два рода припоевъ: крѣпкій или тугоплавкій и слабый, легкоплавкій. Въ обычной практикѣ припои эти имѣютъ слѣдующіе составы:

1) **Крѣпкіе** припои:

мѣди	55	50	47	40%
цинка	45	50	53	60%
температура плавленія . .	880	870	860	835° Цельзія *.

2) **Слабые** (оловянные) припои:

свинца	55	40	35%
олова	45	60	65%
температура плавленія . .	160	135	137° Цельзія *.

Чѣмъ больше олова содержитъ оловянный припой, тѣмъ онъ крѣпче, но приращеніе крѣпости, конечно, не пропорціонально увеличенію содержанія олова. Затѣмъ, повидимому, наблюдается такой фактъ, что чѣмъ больше абсолютные размѣры припаянныхъ поверхностей, тѣмъ менѣе оказывается коэффиціентъ крѣпости припоя на срѣзъ (и на разрывъ). Вообще, можно принимать, что одинъ квадратный миллиметръ хорошо припаянной оловяннымъ припоемъ поверхности можетъ безопасно выдерживать въ работѣ напряженіе въ 0,25 kg/□mm. Коэффиціентъ крѣпости такого припоя лежитъ между 1,20 и 3,20 kg/□mm. Крѣпость припаяннаго оловяннымъ припоемъ мѣста на срѣзъ будетъ одинакова съ крѣпостію двухъ имъ спаянныхъ мѣдныхъ листовъ (подвергающихся разрыву продольною силою) на разрывъ въ томъ случаѣ, если площадь мѣста припоя въ 13 разъ болѣе площади поперечнаго сѣченія мѣднаго листа. Ширину напуска при спайкѣ мѣдныхъ трубъ рекомендуется дѣлать въ 20 разъ болѣе, чѣмъ толщина листа.

Испытательная Станція въ Шарлоттенбургѣ выяснила, что обычные крѣпкіе припои мало удовлетворительны и рекомендуетъ слѣдующіе составы для крѣпкихъ припоевъ (собственно, для пайки латуни):

---

* всѣ части понимаются здѣсь взятыми *по вѣсу*.

Составъ въ % (по вѣсу):

мѣди	цинка	серебра	*примѣненіе*:
53	43	4	только для очень тугоплавкихъ сортовъ латуни а также для мѣдныхъ аппаратовъ и трубъ.
48	48	4	для средней латуни, первая спайка.
42	52	6	для латунныхъ листовъ и проволоки.
44	47	9	для вторичной пайки той же самой вещи и для обычныхъ работъ въ мастерскихъ.
38	50	12	для третьей пайки той же самой вещи и для замѣны оловяннаго припоя; этотъ припой—легкоплавкій.

Эти припои отлично растекаются и ковкость ихъ вдвое больше, чѣмъ обыкновенныхъ припоевъ, которые до сихъ поръ употреблялись въ мѣдномъ и латунномъ дѣлѣ. Всѣ эти припои, кромѣ послѣдняго, обладаютъ свойствомъ тягучести.

Припои эти слѣдуетъ изготовлять такимъ образомъ. Мѣдь расплавляютъ отдѣльно и выливаютъ съ высоты двухъ метровъ сквозь метлу или вѣникъ, который двигаютъ у самой поверхности воды. Послѣ того, какъ полученныя такимъ образомъ зерна мѣди высохнутъ, ихъ просѣиваютъ. Для изготовленія припоя должны пойти только тѣ зерна, которыя пройдутъ сквозь сито, съ шириною клѣтки въ 15mm. Отвѣшенное для изготовленія припоя потребное количество этихъ зеренъ смѣшивается съ втрое меньшимъ по вѣсу количествомъ нащатыря въ порошкѣ; къ этой смѣси прибавляютъ затѣмъ понемногу чистый расплавленный цинкъ и въ то же время примѣшиваютъ и серебро, прокованное въ тонкіе листочки и изрѣзанное на кусочки.

Англійскій инженеръ Walter J. May даетъ также слѣдующія, весьма обстоятельныя указанія относительно припоевъ:

Для пайки *латуни*:

мѣди . . . . . 50 частей
цинка . . . . 50 частей.

Для пайки *красной мѣди*:

мѣди . . . . . 52 части
цинка . . . . 48 частей

или

мѣди . . . . . 52 части
цинка . . . . . 47 частей
алюминія . . . . . 1 часть.

Для пайки *желѣза* и *стали*:

мѣди . . . . . 55 частей
цинка . . . . 44 части
алюминія или
олова . . . 1 часть.

Изготовлять припой слѣдуетъ такъ. Сперва расплавить мѣдь и затѣмъ прибавить къ ней олово или алюминій и, напослѣдокъ, цинкъ, кладя его понемногу, малыми порціями, и предварительно высушивъ его и хорошо подогрѣвши; смѣсь эту слѣдуетъ хорошенько перемѣшивать, для того, чтобы вещества лучше соединились другъ съ другомъ. Смѣсь доводятъ до полнаго плавленія, снимаютъ пѣну и затѣмъ приступаютъ къ выливанію.

Для выливанія необходимо заготовить баки, наполненные водою фута на два глубины и расположенные **по крайней мѣрѣ на 12 футовъ ниже того мѣста, гдѣ находится расплавленная смѣсь**; желательно производить выливаніе смѣси сквозь сито въ 16 клѣтокъ, чтобы припой хорошенько раздробился при своемъ паденіи въ воду; если же возможно имѣть высоту нѣсколько болѣе, чѣмъ 12 футъ, то можно обойтись и безъ сита; во всякомъ случаѣ, припой долженъ падать внизъ тонкой струйкой и хорошо раздробляться.

Послѣ выливанія собираютъ зерна изъ бака, сушатъ въ тепломъ мѣстѣ, отсѣиваютъ и сохраняютъ въ *герметически закупоренныхъ жестянкахъ*, пока не понадобится производить пайку.

Третій родъ флянцевъ составляютъ флянцы свободные, вольные или холостые, которые совершенно свободно надѣваются на трубу и лишь опираются, безъ всякаго ущемленія или прикрѣпленія, на какой нибудь выступъ или закраину, придѣланный къ трубѣ. Примѣры такихъ свободныхъ флянцевъ мы имѣемъ на табл. 76, фиг. 8, 10 и 11; табл. 77, фиг. 4 (правая труба); табл. 78, фиг. 1—2, 14; табл. 79, фиг. 9, 10—11, 12; табл. 80, фиг. 10—14, 3—4; табл. 81, фиг. 2, 11, 20; на всѣхъ фигурахъ табл. 84 и 85; на табл. 91, фиг. 3 и 5, 10, 22; табл. 92, фиг. 6 и 7; табл. 94, фиг. 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15; и т. д.

Такой свободный флянецъ въ своемъ нормальномъ видѣ, въ какомъ онъ и изображенъ на всѣхъ перечисленныхъ фигурахъ, не имѣетъ никакой втулки или горлышка, а представляетъ изъ себя плоскую лепешку, или просто цилиндрическое кольцо, обыкновенно прямоугольнаго сѣченія. Вслѣдствіе этого такой флянецъ хуже сопротивляется изгибу, нежели раньше разсмотрѣнные флянцы, соединявшіеся съ трубой при помощи рѣзьбы, раскатки и посадки съ расточкой; хотя и тамъ флянецъ на изгибъ работаетъ почти какъ свободный, но благодаря присутствію усиливающаго его горлышка или шейки, толщина такого флянца, при тѣхъ же условіяхъ, выходитъ нѣсколько меньше, нежели толщина настоящаго свободнаго флянца, о которомъ у насъ сейчасъ идетъ рѣчь; это видно изъ разсмотрѣнія многочисленныхъ приводимыхъ въ Атласѣ примѣровъ.

Опредѣленіе прочныхъ размѣровъ свободнаго флянца представляется довольно сложной задачей Сопротивленія Матеріаловъ и только въ послѣднее время, когда пришлось считаться съ высокими давленіями пара, задача эта была рѣшена болѣе или менѣе удовлетворительно и въ пригодной для практики формѣ тѣмъ же инженеромъ Вестфалемъ, который далъ впервые расчетъ и цѣльныхъ флянцевъ. Впослѣдствіи Бахъ, на основаніи своихъ опытовъ, и пользуясь, подобно Вестфалю, тоже извѣстными приближеніями, далъ свои формулы для приближеннаго расчета свободныхъ флянцевъ.

Мы приведемъ теперь результаты изслѣдованій Вестфаля, не входя, однако, въ подробности выводовъ, вопервыхъ, потому, что онѣ весьма сложны, а вовторыхъ потому, что Вестфаль все таки дѣлаетъ много приближеній, и довольно грубыхъ, по моему. Интересующіеся этимъ вопросомъ болѣе подробно могутъ познакомиться со статьей Вестфаля въ оригиналѣ (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1897 г., № 36) *. Кромѣ того, дадимъ также здѣсь и формулы Баха.

---

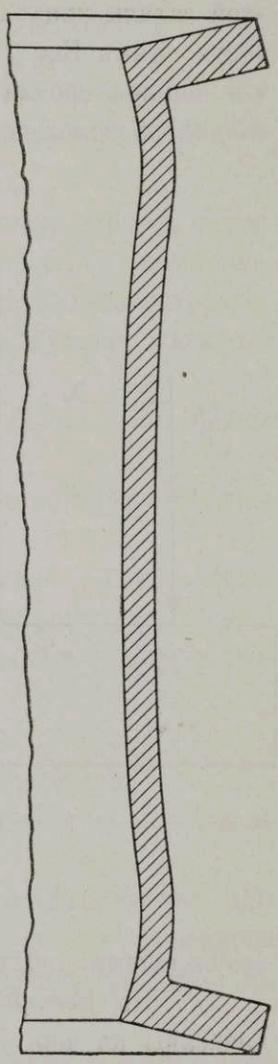
* Для тѣхъ, кому бы пришлось начать читать статью Вестфаля, считаю долгомъ одно общее замѣчаніе относительно характера статьи, которое, можетъ быть, сбережетъ читателю не мало времени и не заставитъ его попенять лишній разъ г-ну Вестфалю. Именно, вся статья читается очень трудно и написана крайне непослѣдовательно, неясно и тяжеловѣсно. Необходимо запастись большимъ терпѣніемъ, чтобы осилить ее всю до конца. Такъ, напр. въ самомъ началѣ статьи (стр. 1036) Вестфаль почему-то не считаетъ нужнымъ давать поясненія, весьма, однако, желательныя, а **позже**, черезъ три страницы (стр. 1039, правый столбецъ, ур-ія 40, 41, 42) онъ находитъ необходимымъ эти именно поясненія (хотя и весьма, все таки, смутно) дать. Для того, чтобы сберечь время читателя, считаю долгомъ пояснить, что на стр. 1036, въ ур. (1) деформація $\varepsilon = \frac{\varrho}{r}$ обусловлена тѣмъ, что отъ поворота вокругъ нейтральной оси сѣченій, бывшихъ радіальными до деформаціи, и предполагающихся и послѣ деформаціи тоже радіальными, т. е. проходящими опять черезъ ось трубы или флянца, происходитъ удлиненіе по

Вестфаль даетъ расчетъ и свободнаго флянца, и флянца, составляющаго одно цѣлое съ трубою. Какъ для того, такъ и для другого случая онъ дѣлаетъ упрощающее предположеніе, именно, что нагрузки флянца силами, дѣйствующими по болтамъ, приложены не въ отдѣльныхъ точкахъ, центрахъ болтовъ, а распредѣлены равномѣрно по всей окружности, проведенной черезъ центры болтовыхъ дыръ. Благодаря этому упрощенію изслѣдованія Вестфаля не даютъ никакихъ представленій о томъ, какъ гнется флянецъ въ промежуткѣ между двумя болтами, а это представленіе было бы весьма желательно не только для того, чтобы судить о возможности излома флянца въ этомъ мѣстѣ, но еще болѣе для того, чтобы судить о *герметичности*, ибо, какъ уже сказано ранѣе, тонкіе флянцы могутъ такъ замѣтно прогибаться и расходиться другъ съ другомъ именно въ промежуткѣ между двумя сосѣдними болтами, что въ результатѣ этого можетъ явиться течь.

Слѣдуетъ еще замѣтить, что и Вестфаль и Бахъ разсматриваютъ *только круглые* флянцы. Къ флянцамъ треугольнымъ, квадратнымъ, овальнымъ и пр. формулы обоихъ изслѣдователей не примѣнимы и расчета такихъ флянцевъ мы пока совершенно не имѣемъ.

Разсмотримъ сперва тотъ случай, когда **флянецъ составлетъ одно цѣлое съ трубой**.

Въ этомъ случаѣ флянецъ является, благодаря своей связи съ трубою, какъ бы ущемленнымъ по всей своей окружности. Прочности флянца это обстоятельство безусловно способствуетъ, но за то оно невыгодно въ томъ отношеніи, что, благодаря такой связи, моментъ, изгибающій флянецъ, *передается и на тѣло, на стѣнку трубы*. Труба тогда не остается строго цилиндрической, она выгибается, и та форма, которую, строго говоря, принимаетъ всякая труба съ цѣльными флянцами, представлена, съ сильно преувеличенной для ясности деформаціей, на чер. 78. Строго говоря, обстоятельство это слѣдовало бы принимать во вниманіе при опредѣленіи толщины стѣнокъ трубъ, но этого не дѣлали и до сихъ поръ еще не дѣлаютъ, благодаря, вопервыхъ, тому, что упомянутый сейчасъ изгибъ вызываетъ напряженія главнымъ образомъ въ поперечномъ сѣченіи трубы, которое гораздо менѣе опасно на разрывъ, чѣмъ продольное, такъ что, вообще говоря, можно ожидать, что даже сумма напряженій на разрывъ по поперечному сѣченію и на изгибъ будетъ менѣе, нежели напряженіе на разрывъ по продольному направленію; вовторыхъ, потому, что вычислить сказанное напряженіе изгиба весьма сложно и до сихъ поръ задача эта не рѣшена удовлетворительно.



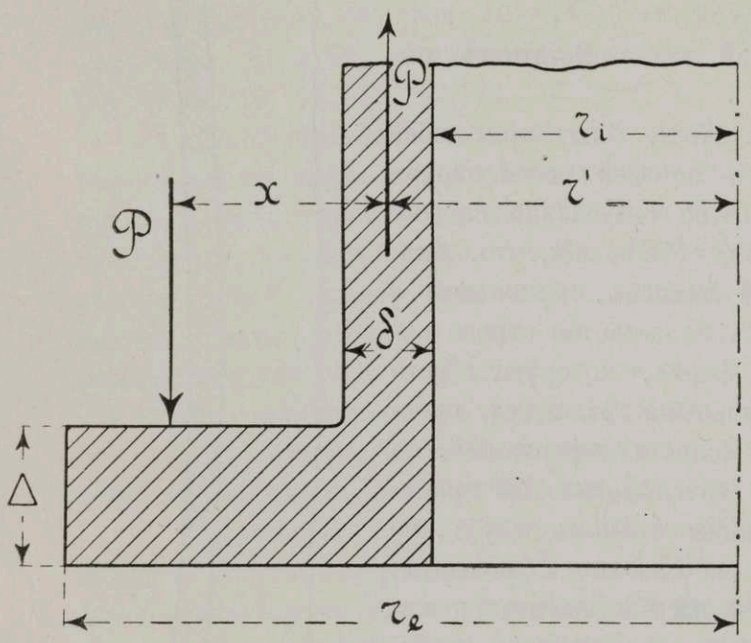
Чер. 78.

Слѣдуетъ, однако, сказать, что не всегда такое пренебреженіе изгибомъ стѣнки допустимо въ практикѣ. Понятно, что чѣмъ далѣе болты отстоятъ отъ стѣнки трубы, или, все равно, чѣмъ больше діаметръ круга, проходящаго черезъ центры болтовыхъ дыръ, тѣмъ больше будетъ моментъ, изгибающій флянецъ и тѣмъ больше будетъ и моментъ, изгибающій стѣнку трубы, и можетъ, конечно, случиться, что напряженіе въ поперечномъ сѣченіи, обусловленное растяженіемъ и изгибомъ, станетъ больше, нежели

радіальному направленію на одной половинѣ, и сокращеніе — на другой половинѣ сѣченія. Найти ее довольно сложно, но этого вывода *нѣтъ!* Вестфаль же пишетъ просто, что $\varepsilon = \frac{\varrho}{r}$ есть „вытяжка единицы длины“ (ε die Ausdehnung der Längeneinheit in dq) и понять, почему тогда „получаются ур. (1) и (2)“ (безъ всякихъ поясненій сказано: dann finden folgende Beziehungen statt:) — крайне затруднительно! На стр. 1039 это немного пояснено, но, все таки, весьма плохо.

напряженіе на разрывъ по продольному направленію, по которому производился расчетъ трубы или стѣнки сосуда, и тогда возможна поломка трубы. *Такіе случаи, къ сожалѣнію, наблюдались* и теперь, когда обратили должное вниманіе на причину ихъ, приходится помнить про изгибающее вліяніе флянца на стѣнку трубы. Бахъ даетъ въ послѣднихъ своихъ работахъ приближенную формулу для опредѣленія разсматриваемаго здѣсь напряженія изгиба стѣнки (см. послѣднее изданіе его „Деталей Машинъ“). Замѣтимъ еще, что, вообще, моментъ, изгибающій флянецъ или трубу, зависитъ не только отъ положенія болтовъ, но также и отъ формы и расположенія той прокладки, которая лежитъ между флянцами.

Вообще говоря, точно задача пока рѣшена быть не можетъ, такъ какъ она является задачей статически неопредѣленною, и для простого и практическаго рѣшенія этой задачи приходится дѣлать предположенія, имѣющія извѣстную степень достовѣрности. Какъ Вестфаль, такъ и Бахъ оба дѣлаютъ одно и то же предположеніе, именно, что ширина прокладки какъ разъ равна толщинѣ стѣнки трубы, и что толщина прокладки расположена какъ разъ надъ толщиною стѣнки; тогда у нихъ, въ предположеніи еще равномѣрнаго распредѣленія напряженій смятія по этой ширинѣ, плечо изгибающей силы выходитъ равнымъ разстоянію отъ окружности болтового круга до средины толщины стѣнки трубы; на чер. 79 разстояніе это обозначено буквою x. По замѣчанію Баха, даже значительное отступленіе (въ расположеніи прокладки) отъ этого предположенія сравнительно немного вліяетъ на величину напряженія и потому результаты расчета, произведеннаго въ указанномъ предположеніи, можно считать примѣнимыми въ практикѣ. Вестфаль же не дѣлаетъ даже и такой оговорки.



Чер. 79.

За отсутствіемъ болѣе точныхъ теорій приходится, какъ уже сказано, удовольствоваться пока результатами, полученными Вестфалемъ и Бахомъ.

По *Вестфалю* наибольшее напряженіе въ цѣльномъ флянцѣ, котораго размѣры показаны на чер. 79, выражается такимъ образомъ:

$$k = P\left(U - \frac{1 + M - N}{1 + L + O} W\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (71),$$

гдѣ коэффиціенты U, W, L, M, N и O имѣютъ слѣдующія значенія:

$$U = -\frac{0{,}292}{r' \cdot \delta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (72),$$

$$W = \frac{x\,(3{,}896 \cdot \Delta + 7{,}668\sqrt{r'\delta})}{\pi r' \Delta^3 \cdot \log_{hip}\frac{r_e}{r_i}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (73),$$

$$L = 2{,}352\,\frac{r'\sqrt{\left(\frac{\delta}{r'}\right)^3 \times \left(\Delta + \frac{\sqrt{r'\delta}}{1{,}278}\right)}}{\Delta^2 \cdot \log_{hip}\frac{r_e}{r_i}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (74),$$

$$M = 0{,}653 \frac{\Delta}{x} \sqrt{\frac{\delta}{r'}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (75),$$

$$N = \frac{1}{12} \cdot \frac{\delta^2}{r'x} - 0{,}51 \cdot \frac{\delta}{x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (76),$$

$$O = \frac{3{,}67 \cdot \delta^2 \left(\frac{\Delta}{2} + \frac{\sqrt{r'\delta}}{1{,}278} \right)}{\Delta^3 \cdot \log_{hip} \frac{r_e}{r_i}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (77).$$

Въ этихъ формулахъ P обозначаетъ *полную* силу, сгибающую флянецъ, т. е. сумму всѣхъ силъ, съ которыми болты давятъ на флянецъ. Если предположить, что на всѣ болты флянца нагрузка распредѣляется равномѣрно, то будемъ имѣть

$$P = V \cdot i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (78),$$

гдѣ V есть сила, растягивающая одинъ болтъ, а i — число болтовъ.

Силы P и V должны быть вычислены для того момента жизни трубы, когда онѣ имѣютъ *наибольшую* величину. Это будетъ, какъ ясно само собою, и какъ подробно будетъ объяснено далѣе, въ то время, когда въ трубопроводъ, болты котораго, для достиженія герметичности, были предварительно затянуты, будетъ пущена жидкость подъ наибольшимъ возможнымъ давленіемъ.

Всѣ остальные размѣры, входящіе въ формулы (72) — (77), ясно видны на чер. 79.

Во всѣхъ выписанныхъ сейчасъ формулахъ log_{hip} обозначаетъ *натуральные* или *гиперболическіе* логарифмы.

Уравненія (72) — (77) получены Вестфалемъ, какъ уже сказано раньше, лишь путемъ многихъ допущеній, и степень ошибки, внесенная этими допущеніями, совершенно ничѣмъ не провѣрена. Но, за отсутствіемъ лучшаго, приходится довольствоваться пока его формулами.

Допущенія, сдѣланныя Вестфалемъ, суть слѣдующія:

1). Сила, съ которою болты дѣйствуютъ на флянецъ, распредѣлена равномѣрно по всей окружности круга, проходящаго черезъ центры болтовыхъ дыръ.

2). Послѣ изгиба изогнутая нейтральная линія флянца на какомъ нибудь діаметральномъ разрѣзѣ остается перпендикулярною къ изогнутой средней линіи толщины трубы (на томъ же діаметральномъ разрѣзѣ) въ мѣстѣ соединенія трубы и флянца.

3). Разсматривается труба, имѣющая цѣльные флянцы одинаковаго размѣра на обоихъ концахъ, такъ что деформація трубы совершенно симметрична относительно средины ея длины.

4). Длина трубы предполагается весьма большою, благодаря чему при интегрированіи можно пренебрегать нѣкоторыми членами и упростить дѣло.

5). Флянецъ при деформированіи не испытываетъ никакихъ уменьшеній по радіальному направленію.

6). Опасная линія для флянца есть та окружность, гдѣ поверхность флянца, обращенная не къ стыку, а къ трубѣ, соединяется съ цилиндрическою поверхностію трубы.

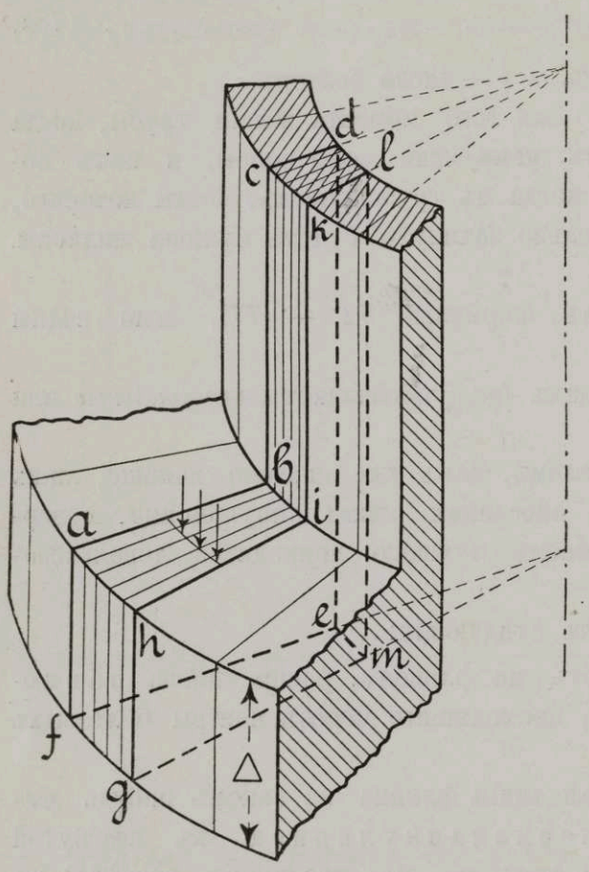
7). Напряженія въ цилиндрической стѣнкѣ по радіальному направленію принимаются равными нулю.

Не смотря, однако, на такую массу предположеній, формулы Вестфаля все таки слѣдуетъ рѣшительно предпочесть прежнему способу *„приближеннаго“* расчета флян-

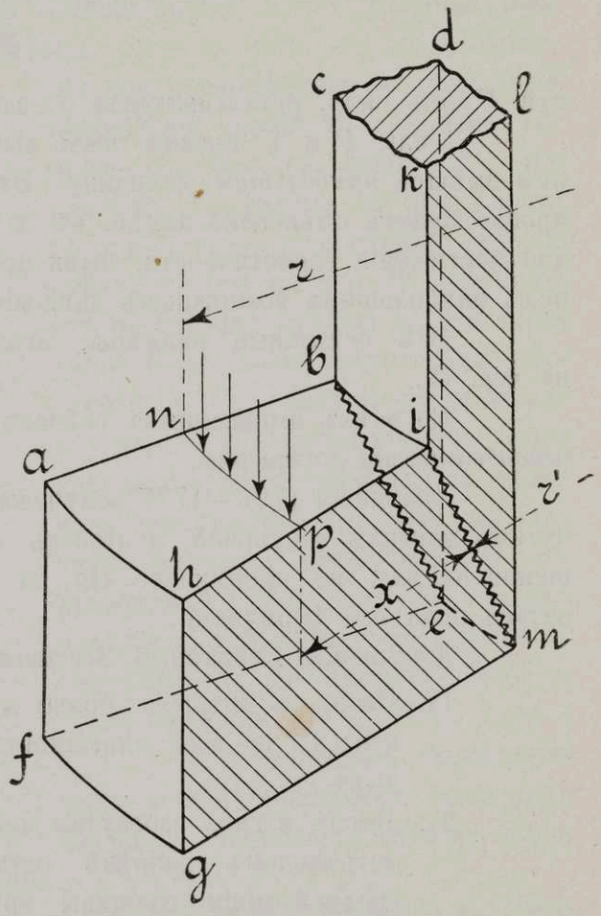
цевъ, такъ какъ формулы Вестфаля несравненно ближе къ истинѣ, нежели прежній „*приближенный*“ способъ. По формуламъ Вестфаля расчитаны уже флянцы Нормъ Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ и его теорія гораздо ближе къ истинѣ, нежели прежній способъ, потому что въ ней принято въ вниманіе *самое главное*, именно то, что флянець есть **цѣльный кружокъ** и что при его изгибѣ развиваются напряженія по направленіямъ *касательнымъ къ окружности флянца*, а именно этими напряженіями и пренебрегалъ прежній способъ расчета, благодаря чему онъ и вносилъ такія огромныя погрѣшности, что во многихъ случаяхъ результаты расчета, произведеннаго по нему, являлись *полнѣйшей безсмыслицей!*

Этотъ прежній способъ расчета, съ которымъ еще и сейчасъ приходится нерѣдко встрѣчаться, состоитъ въ слѣдующемъ.

Флянецъ считается *какъ бы распиленнымъ* по радіальнымъ или діаметральнымъ



Чер. 80.



Чер. 81.

сѣченіямъ на множество маленькихъ секторковъ (чер. 80) и каждый такой секторокъ расчитывается на изгибъ *отдѣльно*, какъ будто бы онъ на самомъ дѣлѣ не имѣетъ никакой связи съ другими секторками, а гнется совершенно независимо. Стало быть, другими словами, совершенно пренебрегаютъ напряженіями, дѣйствующими, на самомъ дѣлѣ, по касательнымъ къ окружности флянца вслѣдствіе того, что этотъ послѣдній представляетъ изъ себя не рядъ отдѣльныхъ секторковъ, а цѣльный кружокъ.

Такимъ образомъ, по этому способу, мы мысленно выдѣляемъ двумя радіальными сѣченіями *a b c d e f* и *g h i k l m* (чер. 80) изъ флянца и трубы кусокъ *a b c d e f g h i k l m*, представленный отдѣльно на чер. 81, и считаемъ, что этотъ кусокъ, подъ дѣйствіемъ приходящейся на него части полной нагрузки, гнется какъ брусокъ, совершенно не связанный съ другими такими же брусками, на которые мы мысленно разрѣзаемъ нашъ флянецъ и трубу. Стало быть, мы предполагаемъ, что онъ имѣетъ нейтральный слой, проходящій на половинѣ толщины Δ флянца

и что верхнія волокна (на рисункѣ) растягиваются, а нижнія — сжимаются (чер. 82). Въ радіальныхъ же сѣченіяхъ, проходящихъ черезъ ось трубы, мы допускаемъ полное отсутствіе какихъ бы то ни было напряженій.

Въ такомъ грубомъ предположеніи уравненіе крѣпости пишется, конечно, чрезвычайно просто. Часть нагрузки P, приходящаяся на выдѣленный нами элементъ, будетъ, очевидно, равна $\frac{P(\widehat{np})}{2\pi r}$ и сгибающій моментъ для элементарнаго брусочка будетъ

$$\frac{P \cdot (\widehat{np})}{2\pi r} \cdot x,$$

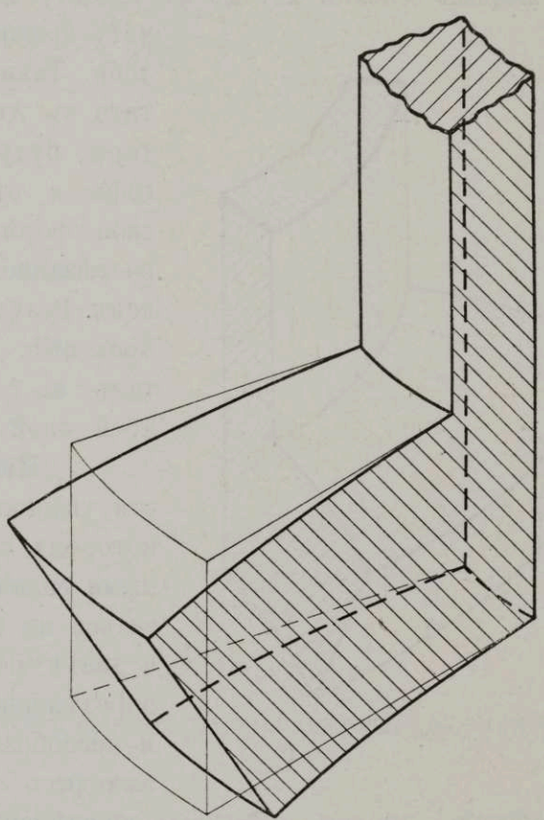
гдѣ плечо x считается до средины толщины стѣнки трубы.

Модуль сопротивленія сѣченія $bime$, которое приближенно считаютъ за прямоугольникъ, одну сторону котораго, именно be или im, принимаютъ равной толщинѣ флянца Δ, а другую — средней линіи трапеціи $bime$, т. е. $= \frac{bi + em}{2}$, напишется въ видѣ

$$\frac{bi + em}{2} \times \frac{\Delta^2}{6}.$$

Уравненіе крѣпости будетъ теперь

$$\frac{P \cdot (\widehat{np})}{2\pi r} \cdot x = \frac{bi + em}{2} \times \frac{\Delta^2}{6} \cdot \quad (79).$$



Чер. 82.

Обыкновенно во всѣхъ тѣхъ сочиненіяхъ, гдѣ рекомендуется такой расчетъ флянца, поступаютъ, для упрощенія писанія, такимъ образомъ: множатъ обѣ части написаннаго сейчасъ уравненія (79) на величину $\varphi = \frac{2\pi r}{\widehat{np}} = \frac{2\pi r'}{\frac{bi + em}{2}}$ (число секторковъ, на которое мысленно разрѣзали трубу) и получаютъ тогда

$$Px = 2\pi r' \times \frac{\Delta^2}{6} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (80).$$

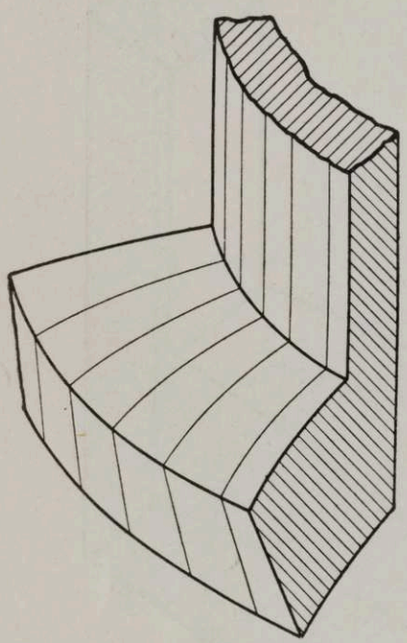
Это уравненіе истолковываютъ тогда такимъ образомъ (разумѣется, совершенно противно здравому смыслу), что, молъ, если умножимъ всю нагрузку P на плечо x (а нагрузка-то распредѣлена по цѣлой окружности!), то получимъ сгибающій моментъ, а если возьмемъ модуль сопротивленія цилиндрической поверхности съ радіусомъ $r' = r_i + \frac{\delta}{2}$ и высотою A (какъ будто бы можно составить модуль не плоской, а цилиндрической поверхности!!), то сейчасъ же и составимъ уравненіе крѣпости (80).

Нечего, конечно, и говорить, насколько неправиленъ такой расчетъ и насколько онъ противорѣчитъ самому смыслу расчета *прямого* бруса! Но тѣмъ не менѣе, расчетъ этотъ можно встрѣтить въ цѣлой массѣ сочиненій по машиностроенію, Англійскихъ, Американскихъ, Французскихъ, Нѣмецкихъ и Русскихъ. Даже самъ осторожный Бахъ въ самомъ послѣднемъ изданіи своихъ „Деталей Машинъ“ не нашелъ ничего лучшаго, какъ порекомендовать для расчета флянцевъ этотъ самый пріемъ.

Къ сожалѣнію, совершенно такой же методъ расчета примѣняется весьма часто

не только къ расчету флянцевъ трубъ, но и къ расчету массы другихъ деталей, которыхъ форма подобна формѣ флянца. Такъ напр., тотъ же самый Бахъ примѣняетъ этотъ расчетъ къ опредѣленію прочныхъ размѣровъ винтовой нарѣзки и въ своемъ сочиненіи „Детали Машинъ“ рекомендуетъ расчитывать винтовую нарѣзку не только на срѣзъ, но также *и на изгибъ* по изложенному сейчасъ „приближенному“ способу. Разумѣется, такой расчетъ *не соотвѣтствуетъ дѣйствительности* и утвержденіе Баха, основанное на немъ, о томъ, что для винтовой нарѣзки опаснѣе изгибъ, а не срѣзъ, не подтверждается дѣйствительностію. У меня, въ моемъ Кабинетѣ Деталей Машинъ въ Императорскомъ Техническомъ Училищѣ имѣется великолѣпный образецъ рѣзьбы разрушенной гайки, пріобрѣтенный проф. Худяковымъ. Рѣзьба чугунной гайки *срѣзалась* (а не сломалась!) по всей своей длинѣ настолько чисто, что *вся нарѣзка гайки* (внутренній діаметръ около 2 дюйм., высота гайки около 3 дюйм., завитковъ — семь по высотѣ гайки) *срѣзалась сразу какъ одно цѣлое тѣло*, не разъединившись, и теперь всѣ принимаютъ эту срѣзанную рѣзьбу за спиральную пружину!

Еще болѣе нелѣпые результаты получаются при попыткахъ примѣнить изложенный сейчасъ методъ къ расчету цѣльныхъ кружковъ и пластинокъ, именно, къ расчету крышекъ цилиндровъ, клапанныхъ коробокъ и т. подобн. Такихъ попытокъ въ особенности много можно встрѣтить въ Англійскихъ и Американскихъ журналахъ, гдѣ авторы, будучи мало знакомы съ прекрасными работами Грасгофа и въ особенности Баха по этому вопросу, выводятъ свои формулы для расчета крышекъ, предполагая крышку разрѣзанной діаметральными сѣченіями на множество секторковъ. Результаты, при попыткѣ примѣнить эти формулы къ практикѣ, получаются **совершенно нелѣпые**, что̀ испыталъ на себѣ я еще 17 лѣтъ тому назадъ, въ первые дни моей юной конструкторской дѣятельности.



Чер. 83.

Именно вслѣдствіе необыкновенной распространенности указаннаго сейчасъ неправильнаго пріема расчета, при которомъ совершенно пренебрегаютъ весьма важными окружными силами, я и остановился на немъ подробнѣе. Полагаться на этотъ расчетъ совершенно невозможно, хотя Бахъ и даетъ его въ своей книгѣ. Этотъ расчетъ приводитъ, при опредѣленіи размѣровъ новой детали, къ черезчуръ большимъ и несообразнымъ размѣрамъ. На самомъ же дѣлѣ напряженіе выходитъ гораздо меньше, нежели даетъ этотъ расчетъ, и обратно, прочные размѣры, опредѣленные по формулѣ Вестфаля (для флянцевъ) или вообще, по болѣе точной формулѣ для крышекъ цилиндровъ и т. п., выходятъ менѣе, нежели по разбираемому способу. Причина этого, какъ уже сказано, заключается въ томъ, что на самомъ дѣлѣ флянецъ (или крышка и т. п.) гнется не какъ рядъ отдѣльныхъ несвязанныхъ другъ съ другомъ радіальныхъ брусочковъ, а какъ *одно цѣлое тѣло* (чер. 83) и потому въ немъ имѣются и напряженія, направленныя по касательнымъ и способствующія прочности тѣла, которое надобно разсматривать какъ пластинку; разсмотрѣніе же вопроса о прочности пластинки сводится, въ лучшемъ случаѣ, къ изслѣдованію упругаго равновѣсія тѣла въ *двухъ* измѣреніяхъ (zweidimensionale Problem), тогда какъ методъ разрѣзанія на брусочки сводитъ дѣло къ болѣе простой задачѣ разсмотрѣнія напряженій лишь по *одному* измѣренію.

Составить себѣ представленіе о дѣйствительномъ характерѣ деформаціи флянца или вообще пластинки очень не трудно. Стоитъ взять кружокъ отъ резиноваго клапана и положить его на какое нибудь кольцо или торецъ трубы и затѣмъ, надавивши въ срединѣ кружокъ, наблюдать характеръ деформаціи.

Для того, чтобы видѣть, насколько разнятся результаты обоихъ расчетовъ, приводимъ слѣдующій примѣръ (изъ статьи Вестфаля).

Примѣръ. — $2r_i = 300\text{mm}$; $P = 20000\text{kg}$; $\delta = 24\text{mm}$;
$r' = 162\text{mm}$; $x = 48\text{mm}$; $\Delta = 28\text{mm}$;
$r_e = 225\text{mm}$.

Тогда:

$$\frac{\delta}{r'} = 0{,}148; \qquad \log_{hip}\frac{r_e}{r_i} = \log_{hip}\frac{450}{300} = 0{,}405.$$

$$U = -\frac{0{,}292}{162 \times 24} = -0{,}000075;$$

$$W = \frac{48(3{,}896 \cdot 28 + 7{,}668\sqrt{162 \times 24})}{\pi \cdot 162 \cdot 2{,}8^3 \cdot 0{,}405} = 0{,}0062;$$

$$L = \frac{2{,}352 \cdot 162 \cdot \sqrt{\left(\frac{24}{162}\right)^3 \times \left(28 + \frac{\sqrt{162 \times 24}}{1{,}278}\right)}}{28^3 \cdot 0{,}405} = 5{,}25;$$

$$M = 0{,}653 \cdot \frac{28}{48} \cdot \sqrt{\frac{24}{162}} = 0{,}146;$$

$$N = \frac{1}{12} \cdot \frac{24^2}{162 \cdot 48} - 0{,}51\frac{24}{48} = -0{,}249;$$

$$O = \frac{3{,}67 \cdot 24^2\left(\frac{28}{2} + \frac{\sqrt{162 \cdot 24}}{1{,}278}\right)}{28^3 \cdot 0{,}405} = 15;$$

$$\frac{1 + M - N}{1 + L + O} = 0{,}0655;$$

$$k = 20000\,(-0{,}000075 + 0{,}0655 \cdot 0{,}0062) = 6{,}62\text{kg/}\square\text{mm}.$$

Если теперь опредѣлимъ напряженіе въ этомъ флянцѣ по приближенной формулѣ (80), то получимъ

$$k' = \frac{20000 \cdot 48}{2\pi \cdot 162 \cdot \frac{28^2}{6}} = \sim 7{,}3\text{kg/}\square\text{mm}.$$

Въ этомъ примѣрѣ разница не особенно велика. Вестфаль на стр. 1041 указанной статьи, говоря о прежнемъ, приближенномъ расчетѣ, о чемъ говорили сейчасъ и мы, провѣряетъ флянецъ (?) * по формулѣ

$$k'' = \frac{20000}{2\pi \cdot 162 \cdot 24} + \frac{20000 \cdot 48}{2\pi \cdot 162 \cdot \frac{24^2}{6}},$$

но это явная ошибка въ выраженіи! Разъ входитъ въ квадратѣ *24*, а не *28*, то это не есть расчетъ „*флянца*“, ибо иначе получался бы абсурдъ, именно, что прочность флянца не зависитъ совершенно отъ его толщины, а зависитъ лишь отъ толщины

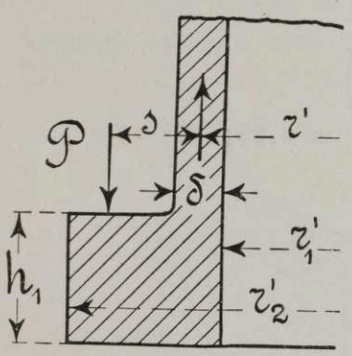
---

* онъ пишетъ: „Hätte man den *Flansch* auf einfachen Bruch und Zug berechnet, wie man überschläglich zu rechen pflegt“

стѣнки, а до такого абсурда и старая теорія никогда не доходила! Поэтому, надобно читать не расчетъ „*флянца*“, а расчетъ „*стѣнки*“ и тогда напряженіе k'' будетъ представлять напряженіе въ стѣнкѣ трубы, у мѣста соединенія ея съ флянцемъ, о которомъ мы говорили на стр. 117 и которое вычисляетъ и Бахъ, хотя по нѣсколько иной формулѣ. Такимъ образомъ, Вестфаль говоритъ о провѣркѣ на эксцентрическое растяженіе *стѣнки* трубы, а не флянца и далѣе, на стр. 1042, онъ и говоритъ уже „стѣнка“ здѣсь же по непонятной небрежности пишетъ „флянецъ“.

По той же формулѣ Вестфаля можно расчитать и буртикъ или заплечикъ, дѣлаемый на трубѣ въ томъ случаѣ, когда на нее надѣвается вольный флянецъ. Возьмемъ примѣръ опять изъ статьи Вестфаля.

Примѣръ. — Расчетъ буртика (чер. 84). Здѣсь размѣръ s соотвѣтствуетъ размѣру x чер. 79-го, размѣръ h_1—размѣру Δ, радіусъ r_2'—радіусу r_e и радіусъ r_1'—радіусу r_i. Предположимъ слѣдующіе размѣры:



Чер. 84.

$2r'_1 = 300\text{mm}$; $P = 20000\text{kg}$; $\delta = 16\text{mm}$;
$r' = 158\text{mm}$; $s = 20\text{mm}$; $h_1 = 40\text{mm}$;
$r'_2 = 185{,}7\text{mm}$.

Тогда:

$$\log_{\text{hip}} \frac{r'_2}{r'_1} = \log_{\text{hip}} \frac{185{,}7}{150} = 0{,}215; \quad \frac{\delta}{r'} = 0{,}101.$$

$$\sqrt{\left(\frac{\delta}{r'}\right)^3} = 0{,}0321; \qquad \sqrt{r'\delta} = 50{,}2.$$

$$U = -\frac{0{,}292}{158 \times 16} = -0{,}0001155;$$

$$W = \frac{20(3{,}896 \cdot 40 + 7{,}668 \cdot 50{,}2)}{\pi \cdot 158 \cdot 40^3 \cdot 0{,}215} = 0{,}00158;$$

$$L = \frac{2{,}352 \cdot 158 \cdot 0{,}00321\left(40 + \frac{50{,}2}{1{,}278}\right)}{40^2 \cdot 0{,}215} = 2{,}75;$$

$$M = 0{,}653 \cdot \frac{40}{20} \cdot \sqrt{0{,}101} = 0{,}415;$$

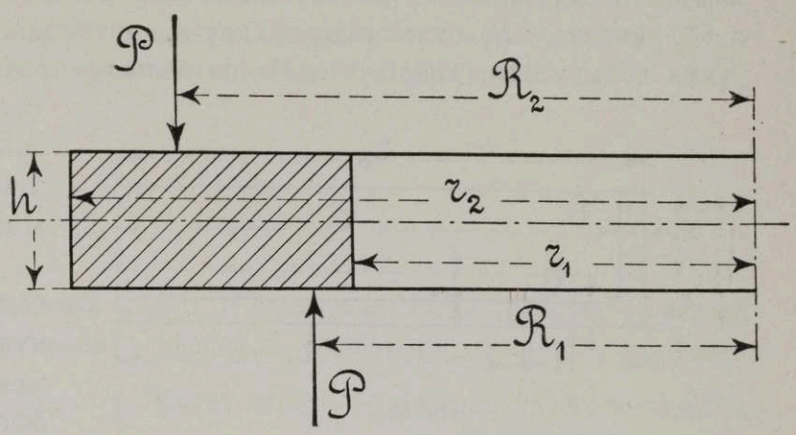
$$N = \frac{1}{12} \cdot \frac{16^2}{158 \cdot 20} - 0{,}51\,\frac{16}{20} = -0{,}401;$$

$$O = \frac{3{,}67 \cdot 16^2\left(\frac{40}{2} + \frac{50{,}2}{1{,}278}\right)}{40^3 \cdot 0{,}215} = 4{,}05;$$

$$\frac{1 + M - N}{1 + L + O} = 0{,}233;$$

$$k = 20000\,(-0{,}0001155 + 0{,}233 \cdot 0{,}00158) = 5{,}06\text{kg/}\square\text{mm}.$$

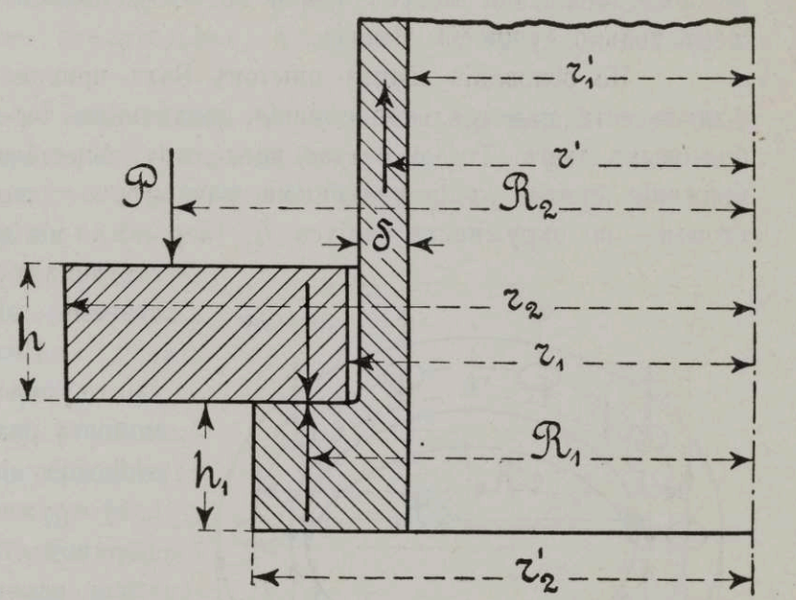
Теперь перейдемъ къ расчету *свободнаго* или *вольнаго* флянца. Прежде всего замѣтимъ, что совершенно точнаго рѣшенія, ввиду математическихъ трудностей, Вестфаль не даетъ. Онъ даетъ точную формулу только для расчета такого флянца, у котораго дыръ для болтовъ нѣтъ. Предѣлы ошибки узнаются по другой формулѣ, выводимой тоже легко, для такого случая, какъ будто бы во флянцѣ сдѣланы не отдѣльныя дыры, а сплошная кольцевая щель съ шириною, равною діаметру дыры. Истинное напряженіе въ дѣйствительномъ свободномъ флянцѣ съ дырами лежитъ между двумя крайними предѣлами, даваемыми сказанными двумя формулами.



Чер. 85.

Для свободнаго флянца съ **прямоугольнымъ** поперечнымъ сѣченіемъ и съ размѣрами, указанными на чер. 85 и 86, уравненіе крѣпости пишется окончательно такъ:

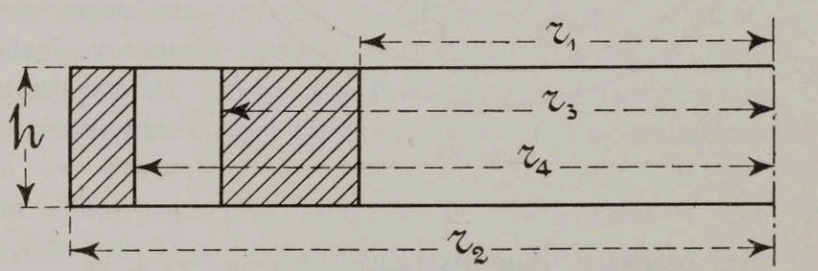
$$B = \frac{3P(R_2 - R_1)}{r_1 \cdot \pi h^2 \log_{hip} \frac{r_2}{r_1}} \quad \ldots \quad (81).$$



Чер. 86.

Для флянца, въ которомъ предположенъ сплошной кольцевой вырѣзъ (чер. 87), уравненіе крѣпости пишется такимъ образомъ:

$$B' = \frac{3P(R_2 - R_1)}{r_1 \cdot \pi h^2 \log_{hip} \frac{r_2 r_3}{r_1 r_4}} \quad \ldots \quad (82).$$



Чер. 87.

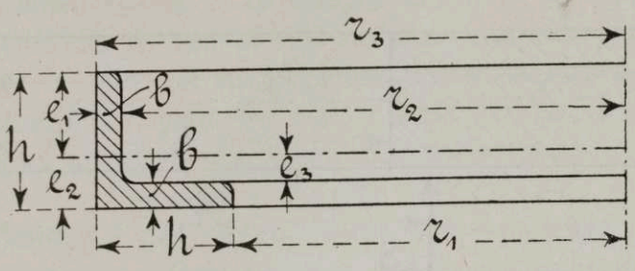
Истинное напряженіе лежитъ между этими двумя предѣлами.

Для флянца, сдѣланнаго изъ **равносторонняго углового желѣза** съ размѣрами, данными на чер. 88, уравненія крѣпости (безъ дыръ), дающія напряженія на крайнихъ волокнахъ, пишутся такимъ образомъ:

$$B_1 = \frac{P(R_2 - R_1)e_1}{2\pi r_2 \cdot \frac{1}{3}\left\{(e_1^3 + e_3^3)\log_{hip}\frac{r_3}{r_2} + (e_2^3 - e_3^3)\log_{hip}\frac{r_3}{r_1}\right\}} \quad \ldots \quad (83).$$

$$B_2 = \frac{P(R_2 - R_1)e_2}{2\pi r_1 \cdot \frac{1}{3}\left\{(e_1^3 + e_3^3)\log_{hip}\frac{r_3}{r_2} + (e_2^3 - e_3^3)\log_{hip}\frac{r_3}{r_1}\right\}} \quad \ldots \quad (84).$$

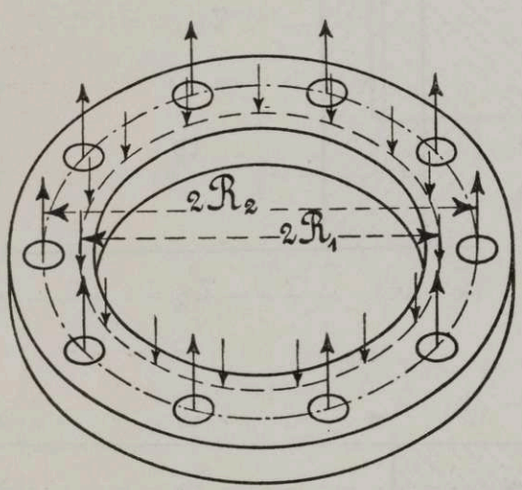
Одно изъ этихъ напряженій будетъ напряженіе растяженія, а другое—сжатія. Въ этихъ формулахъ радіусы R_2 и R_1 (на чертежѣ 88 не поставлены, чтобы не пестрить его) имѣютъ совершенно тѣ же значенія, какъ и для прямоугольнаго флянца, на чер. 85 и 86; именно, R_2 есть радіусъ круга, по которому предполагается распредѣленною сумма всѣхъ силъ, дѣйствующихъ по болтамъ (радіусъ центровъ болтовыхъ дыръ), а R_1 есть радіусъ круга, по которому принимается распредѣленнымъ напряженіе смятія между флянцемъ и буртикомъ трубы.



Чер. 88.

Бахъ даетъ для расчета свободныхъ флянцевъ приближенную формулу, основанную на тѣхъ же соображеніяхъ, на которыхъ основаны и его формулы для расчета крышекъ сосудовъ и пр. Не входя въ подробности, которыя желающіе могутъ найти въ его сочиненіи „Детали Машинъ“, мы здѣсь укажемъ только сущность вывода.

На основаніи своихъ опытовъ Бахъ принимаетъ, что опасное сѣченіе свободнаго флянца есть діаметральное сѣченіе, проходящее черезъ центры двухъ противолежащихъ болтовыхъ дыръ. Тогда, считая какъ силу, передаваемую флянцу болтами, такъ и напряженіе смятія распредѣленными равномѣрно: первая—по окружности радіуса R_2, а вторая — по окружности радіуса R_1 (чер. 89), мы сгибающій моментъ отъ силъ, дѣйствующихъ на половину окружности, легко составимъ слѣдующимъ образомъ:



Чер. 89.

Пользуясь теоремой Вариньона о томъ, что сумма моментовъ составляющихъ равна моменту равнодѣйствующей, мы возьмемъ равнодѣйствующія отъ силъ, распредѣленныхъ по полуокружностямъ радіусовъ R_2 и R_1, и затѣмъ составимъ алгебраическую сумму моментовъ этихъ равнодѣйствующихъ.

Если силу по одному болту опять назовемъ черезъ V и число болтовъ (предполагаемое здѣсь четнымъ) — черезъ i, то равнодѣйствующая силъ, дѣйствующихъ на полуокружность радіуса R_2, будетъ $0{,}5Vi$, а моментъ ея получится, если умножимъ ее на разстояніе центра тяжести полуокружности πR_2 отъ опаснаго діаметральнаго сѣченія, т. е. на $\frac{2R_2}{\pi}$. Точно такъ же, моментъ силы смятія $0{,}5Vi$, распредѣленной по полуокружности радіуса R_1, будетъ $-0{,}5Vi \times \frac{2R_1}{\pi}$. Сгибающій же моментъ будетъ

$$M = 0{,}5Vi \cdot \left(\frac{2R_2}{\pi} - \frac{2R_1}{\pi}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (85),$$

и уравненіе крѣпости для флянца съ прямоугольнымъ поперечнымъ сѣченіемъ напишется въ видѣ

$$0{,}5Vi \cdot \left(\frac{2R_2}{\pi} - \frac{2R_1}{\pi}\right) = B\frac{2r_2 - 2r_1 - 2e}{6} \cdot h^2 \quad \ldots\ldots \quad (86),$$

гдѣ обозначенія соотвѣтствуютъ черт. 87 и $r_4 - r_3$, т. е. діаметръ дыры для болта, названо черезъ e.

Собственно, по Баху слѣдуетъ еще умножить величину момента (85) на поправочный коэффиціентъ μ, находимый изъ опыта, но для разсматриваемаго случая Бахъ считаетъ возможнымъ принять этотъ коэффиціентъ равнымъ единицѣ.

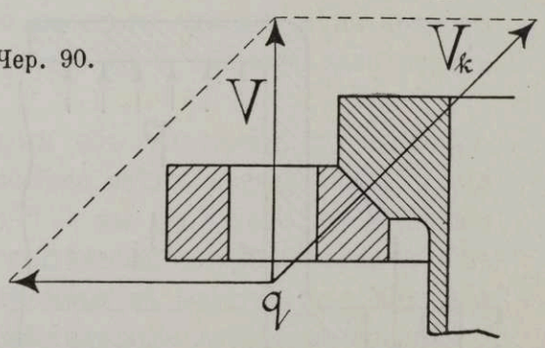
Изъ ур. (86) находимъ

$$B = Vi \frac{3(R_2 - R_1)}{\pi(r_2 - r_1 - e)h^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (87).$$

Замѣчая, что $Vi = P$, принимая $e = 0$ и сравнивая тогда (87) съ формулой Вестфаля (81) видимъ, что составъ обѣихъ формулъ одинаковъ, только вмѣсто множителя $r_1 \log_{hip} \frac{r_2}{r_1}$ формулы Вестфаля у Баха стоитъ болѣе простой множитель $(r_2 - r_1)$. Вычисливши величины этихъ множителей для трубъ различныхъ діаметровъ и сравнивши ихъ, можно видѣть, насколько разнится формула Баха отъ формулы Вестфаля. Разница получается довольно значительная, и лучше пользоваться формулой Вестфаля.

Изъ формулъ и Вестфаля и Баха видно, что моментъ, сгибающій свободный флянецъ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше разность между R_2 и R_1. Изъ этого слѣдуетъ, что и здѣсь, подобно тому, какъ и при крѣпкомъ флянцѣ, необходимо **ставить болты какъ можно ближе къ трубѣ** и не увеличивать, безъ особой надобности, размѣра R_2 флянца.

Чер. 90.



Вестфаль предложилъ, для уменьшенія момента, сгибающаго свободный флянецъ, дѣлать на буртикѣ трубы коническую поверхность подъ угломъ въ 45°, какъ показано на чер. 90 и какъ это принято въ Нормахъ Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ, приведенныхъ на табл. 84—87. При такомъ устройствѣ сила одного болта V и уравновѣшивающая ее сила смятія на конической поверхности V_k пересѣкаются въ точкѣ q, а не параллельны, какъ при плоской опорной поверхности и, благодаря этому, уменьшается не только моментъ, сгибающій свободный флянецъ, но также и моментъ, сгибающій стѣнку трубы; самый же флянецъ въ значительной степени работаетъ тогда на сопротивленіе разрыву, а это для него гораздо выгоднѣе, нежели сопротивляться изгибу.

Теперь намъ остается сказать, что̀ слѣдуетъ разумѣть во всѣхъ нашихъ формулахъ для расчета флянцевъ подъ силами P и V, и затѣмъ разсмотрѣть еще,—какъ по этимъ силамъ расчитываютъ болты.

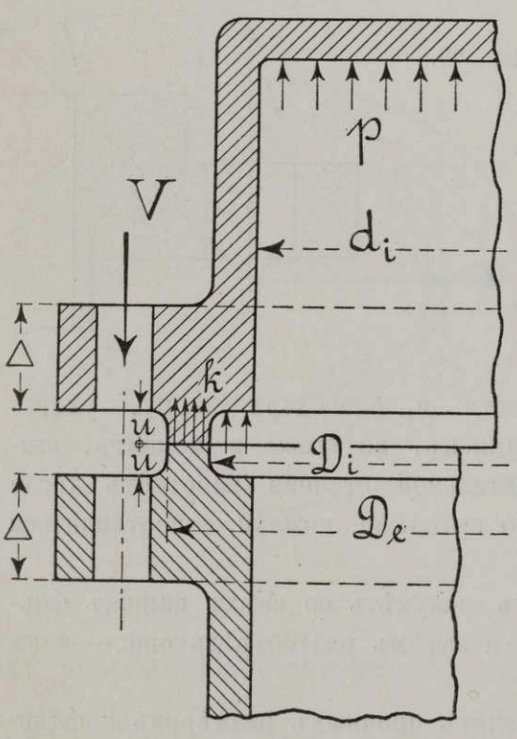
Какъ уже было сказано и ранѣе, при расчетѣ прочныхъ размѣровъ и флянцевъ и болтовъ, мы подъ P и V должны разумѣть *наибольшія* возможныя силы, дѣйствующія по болтамъ. Черезъ P мы обозначили ранѣе сумму *всѣхъ* нагрузокъ на болты флянца, черезъ V же мы обозначили ту силу, которая придется на *одинъ болтъ*, если предположить, что вся продольная сила P распредѣляется равномѣрно на всѣ болты флянца, такъ что, если i есть число болтовъ на флянцѣ, то $V = \frac{P}{i}$.

Для выясненія тѣхъ соображеній, которыя необходимо имѣть въ виду при опредѣленіи силъ P и V, замѣтимъ прежде всего, что болты, стягивающіе два флянца, *обязательно должны быть предварительно, при сборкѣ трубопровода, затянуты*. Это очевидно изъ слѣдующаго соображенія. Если мы представимъ себѣ, что при сборкѣ трубопровода болты не были затянуты, а гайки ихъ были только довернуты до сопри-

косновенія съ опорной поверхностью, такъ что до того момента, когда въ трубопроводъ будетъ пущена жидкость подъ давленіемъ, болты не испытывали никакого напряженія, и не имѣли никакой деформаціи, то ясно, что когда трубопроводъ наполнится такою жидкостью, то болты удлиннятся и поверхности прикосновенія флянцевъ между собою (или флянцевъ и прокладки, если таковая имѣлась), которыя не были прижаты другъ къ другу, а прикасались, такъ сказать, чисто геометрически, отодвинутся другъ отъ друга на величину, зависящую отъ удлиненія болтовъ; если пренебречь деформаціей флянцевъ, то можно сказать, что флянцы разойдутся настолько, насколько удлиннится каждый болтъ. Разумѣется, тогда трубопроводъ потечетъ, и, конечно, такая сборка трубопровода недопустима въ практикѣ, а

необходимо собрать трубопроводъ такъ, чтобы даже и въ то время, когда въ него будетъ пущена жидкость подъ наибольшимъ возможнымъ давленіемъ и болты будутъ удлиняться, флянцы все таки нажимали бы еще другъ на друга (или на прокладку) и нажимали бы съ такою силою, чтобы жидкость не могла бы между ними просочиться. Стало быть, все, сказанное въ главѣ IV относительно достиженія герметичности, должно относиться именно къ этому моменту жизни нашей трубы.

Достигнуть этого возможно только однимъ единственнымъ путемъ, именно — путемъ *предварительнаго* и *достаточно сильнаго* **затягиванія болтовъ**. Когда въ собранный такимъ образомъ трубопроводъ будетъ пущена жидкость подъ давленіемъ, то въ мѣстѣ стыка происходятъ довольно сложныя явленія, вполнѣ ясное представленіе которыхъ существенно необходимо для того, чтобы судить какъ о герметичности флянца, такъ и о величинѣ тѣхъ силъ, которыя будутъ дѣйствовать по болтамъ. Не смотря на то, что разсмотрѣніе этихъ явленій не представляетъ рѣшительно никакихъ принципіальныхъ трудностей и не требуетъ никакихъ высшихъ соображеній, оно, даже и до настоящаго времени, встрѣчается далеко не во всѣхъ курсахъ Деталей Машинъ и поэтому относительно этого вопроса даже и теперь у многихъ техниковъ имѣются совершенно превратные взгляды. Двадцать же лѣтъ тому назадъ по этому вопросу въ литературѣ и въ школѣ, можно сказать, не было рѣшительно никакихъ указаній и вслѣдствіе этого я считаю необходимымъ разсмотрѣть здѣсь этотъ важный вопросъ по возможности подробно и ясно *.



Чер. 91.

Разсмотримъ соединеніе двухъ трубъ флянцами, изображенное на чер. 91. Для наглядности одна изъ трубъ начерчена здѣсь имѣющею дно, чтобы легче было представить себѣ продольную силу, обусловленную давленіемъ жидкости на это дно и на свободную площадь расширенія въ соединеніи.

---

* Автору этихъ строкъ пришлось встрѣтиться съ разбираемымъ вопросомъ, котораго въ школѣ разсматривать не приходилось, немедленно же по окончаніи И. Т. У. На товарищескихъ собраніяхъ нашего курса, на которыя собирались для бесѣдъ жившіе въ Москвѣ товарищи, однимъ изъ нихъ былъ поднятъ этотъ вопросъ и мнѣ пришлось не мало поработать тогда же надъ его выясненіемъ, и удалось рѣшить его правильно (образовалось двѣ партіи, одна изъ которыхъ утверждала, что когда пущена

Разсмотримъ сперва флянецъ въ то время, когда въ трубѣ *жидкости нѣтъ*. Пусть каждый болтъ затянутъ предварительно съ одной и тою же силою, которую назовемъ черезъ V_0. Тогда полная сила, прижимающая одинъ флянецъ къ другому, будетъ равна $V_0 i$ и на поверхности соприкосновенія двухъ флянцевъ (показанной на чертежѣ въ видѣ кольцевого выступа) возбудится подъ дѣйствіемъ ея напряженіе смятія k, равное $\dfrac{V_0 i}{\frac{\pi}{4}\left(D_e^2 - D_i^2\right)}$.

Положимъ теперь, что въ трубопроводъ *пущена жидкость* съ давленіемъ p. Что произойдетъ?

Здѣсь умѣстно будетъ подчеркнуть еще одинъ лишній разъ важность разсмотрѣнія всѣхъ вопросовъ техники не съ отвлеченной, схоластической точки зрѣнія Теоретической Механики, а съ точки зрѣнія *дѣйствительности;* важно напомнить, что надо разсматривать реальное, *физическое* тѣло, со **всѣми** его физическими свойствами, а не отвлеченное, фиктивное тѣло, которое, для упрощенія, какъ первое приближеніе, разсматривается въ „Теоретической“ Механикѣ, и за разсмотрѣніемъ котораго, къ сожалѣнію, очень часто не слѣдуетъ разсмотрѣніе съ точки зрѣнія „Технической“ Механики, гдѣ бы принимались во вниманіе *всѣ дѣйствительныя* свойства реальнаго тѣла, поскольку мы его знаемъ при настоящемъ состояніи Физики.

Та неясность и сбивчивость во взглядахъ на вопросъ—какова будетъ нагрузка на болты при совмѣстномъ дѣйствіи и предварительной затяжки и давленія жидкости—происходила (и теперь еще встрѣчается) именно потому, что разсуждавшіе разсуждали съ точки зрѣнія простой Теоретической Механики, считая тѣла обладающими только протяженностію и инерціей, но совершенно не считаясь съ тѣмъ, что всѣ тѣла природы *упруги*, и что только принимая во вниманіе эту упругость мы и сможемъ дать отвѣтъ на поставленный вопросъ.

Въ самомъ дѣлѣ, если мы на минуту забудемъ объ упругости, то на поставленный вопросъ — „Что произойдетъ съ болтами и вообще всѣмъ соединеніемъ, когда въ трубопроводъ пущена жидкость съ давленіемъ p?“ — мы не будемъ въ состояніи дать никакого отвѣта, потому что задача наша есть статически неопредѣленная и *безъ разсмотрѣнія деформацій мы не имѣемъ никакихъ средствъ* въ нашемъ мышленіи для того, чтобы узнать то распредѣленіе силъ, которое дѣйствительно будетъ имѣть мѣсто.

Разсмотримъ же теперь, что произойдетъ на самомъ дѣлѣ.

Мы утверждаемъ, что полная нагрузка на болты отъ предварительной затяжки P_0 или сила по каждому болту V_0 *непремѣнно увеличатся;* насколько — это зависитъ отъ упругихъ свойствъ тѣлъ.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ я въ одной изъ своихъ лекцій по Деталямъ Машинъ привелъ два простыхъ доказательства этого положенія и вывелъ двумя путями, въ двухъ различныхъ весьма наглядныхъ формахъ, видъ этой увеличенной силы. Это разсмотрѣніе я теперь и привожу здѣсь.

Разсмотримъ деформацію *болта*. Отъ предварительной затяжки болтъ вытянулся на нѣкоторую величину и въ немъ возбудилось нѣкоторое напряженіе на растяженіе, которое и уравновѣшивалось сопротивленіемъ прижатыхъ другъ къ другу поверхностей флянцевъ. Когда въ трубопроводъ пущена жидкость подъ давленіемъ, бо́льшимъ нуля, то болты, несомнѣнно, *должны вытянуться еще нѣсколько болѣе*. Въ самомъ дѣлѣ, если бы мы предположили, что болты ничуть не вытянулись, то это значило бы,

---

жидкость, то давленіе ея цѣликомъ прибавляется къ предварительной затяжкѣ болтовъ; другая партія утверждала, что, наоборотъ, къ силѣ предварительной затяжки болтовъ совершенно ничего не прибавляется, а сколько снимается нагрузки съ силъ смятія, столько именно прибавляется на болты; истина, какъ будетъ видно далѣе, лежитъ между этими двумя крайностями, въ зависимости отъ упругихъ свойствъ), хотя въ литературѣ того времени по этому вопросу почти ничего не было.

что сила по нимъ нисколько не увеличилась, и что напряженіе смятія осталось прежнее. Но вѣдь прибавилась новая сила, именно давленіе жидкости на наибольшую свободную поверхность, т. е. на площадь круга съ діаметромъ D_i, а выходитъ, что эта сила совершенно ничѣмъ не уравновѣшена, ибо по болтамъ сила не увеличилась (они не вытянулись). Такъ какъ это абсурдъ, то несомнѣнно, что для того, чтобы уравновѣсить давленіе жидкости, болты должны еще нѣсколько вытянуться и сила по каждому болту увеличится. Но, при вытягиваніи болтовъ нажатіе флянцевъ нѣсколько ослабѣетъ и можетъ быть флянцы даже разойдутся. Однако, такъ какъ болты все таки удлиннились, то полная сила по каждому болту все таки станетъ болѣе, независимо отъ того, остались ли теперь флянцы еще въ прикосновеніи, или даже совершенно разошлись. Но такъ какъ, изъ соображеній герметичности, второе для насъ не годится, то мы предположимъ первое, именно, что нажатіе флянцевъ ослабѣло, и стало быть, напряженіе смятія уменьшилось, но не до нуля.

Выразимъ теперь это простыми формулами. Если сила затяжки каждаго болта, обусловленная его предварительной вытяжкой, была V_o, а полная продольная сила, обусловленная давленіемъ жидкости есть P_p, то сила, приходящаяся отъ полнаго давленія жидкости на одинъ болтъ, была бы $V_p = \frac{P_p}{i}$. Если бы флянцы нѣсколько не разжимались бы и нажатіе ихъ не ослабѣвало бы, то на каждый болтъ послѣ пуска въ трубы жидкости пришлась бы сила $V_o + V_p$. Но такъ какъ флянцы нѣсколько разжимаются, то сила будетъ меньше, именно, ее можно считать состоящею изъ неизмѣнившейся силы предварительной затяжки (такъ какъ первоначальное удлиненіе болтовъ не уменьшилось, а даже увеличилось) и изъ *части* силы V_p, каковую часть можно представить въ видѣ αV_p, гдѣ множитель α *меньше единицы*. Такимъ образомъ, сила, дѣйствующая по каждому болту, представится въ видѣ

$$V = V_o + \alpha V_p \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (88),$$

гдѣ α *всегда меньше единицы*, но *больше нуля*.

Числовая величина α можетъ быть опредѣлена изъ разсмотрѣнія деформацій.

Но ту же самую силу V можно представить и въ другомъ видѣ. Именно, разсмотримъ теперь не деформацію болта, а деформацію *флянцевъ*.

Мы теперь будемъ разсуждать такимъ образомъ. Очевидно, что разъ на верхнюю (на чертежѣ 91) трубу дѣйствуетъ давленіе жидкости, которое, несомнѣнно равно P_p (или V_p на одинъ болтъ), то давленіе это исчезнуть, пропасть не можетъ; оно непремѣнно должно чѣмъ нибудь уравновѣшиваться и очевидно, что оно уравновѣшивается сопротивленіемъ болтовъ. Такимъ образомъ, мы можемъ утверждать, что каждый болтъ полностію выноситъ на себѣ силу V_p. Но такъ какъ флянцы не разошлись вполнѣ, то отъ напряженія смятія, хотя и уменьшившагося теперь противъ первоначальной величины k, на каждый болтъ приходится еще и добавочная нагрузка, меньшая противъ V_o, но бо́льшая нуля. Нагрузку эту мы для одного болта можемъ представить въ видѣ βV_o и написать теперь, что

$$V = V_p + \beta V_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (89),$$

гдѣ β *всегда меньше единицы*, но *больше нуля*.

Числовая величина β можетъ быть опредѣлена изъ разсмотрѣнія деформацій.

Сравнивая уравненія (88) и (89) мы можемъ еще написать

$$V_o + \alpha V_p = V_p + \beta V_o$$

или

$$\frac{V_o}{V_p} = \frac{1-\alpha}{1-\beta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (90).$$

Опредѣленіе коэффиціентовъ α и β представляетъ въ практикѣ значительныя трудности, какъ и вообще рѣшеніе всѣхъ подобныхъ задачъ, гдѣ приходится принимать

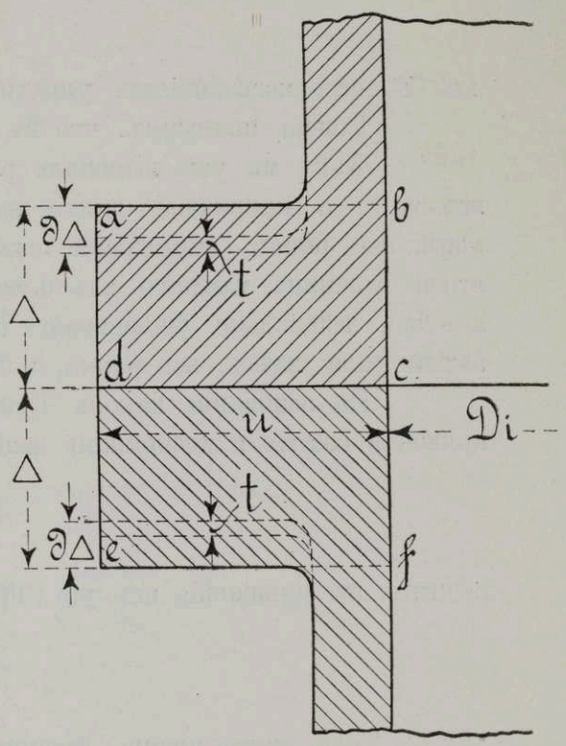
во вниманіе деформаціи деталей. Но, кромѣ этого, для практическихъ расчетовъ является весьма неопредѣленною и величина V_0, сила предварительной затяжки болта.

Вслѣдствіе этого наши ур. (88) и (89) могутъ очень хорошо служить для уясненія сути дѣла, но лишь съ большими затрудненіями могутъ быть примѣнены для числоваго рѣшенія задачъ, относящихся къ затянутымъ болтамъ флянцевыхъ соединеній.

Но все таки, для того, чтобы имѣть хотя нѣкоторое понятіе о вліяніи различныхъ факторовъ на результаты изслѣдованія, мы сдѣлаемъ здѣсь нѣсколько числовыхъ примѣровъ, допуская самыя простыя, весьма грубыя приближенія, но тѣмъ не менѣе достаточныя для того, чтобы ясно видѣть сущность дѣла.

Разсмотримъ сперва такой случай.

I).—Флянцы прикасаются *непосредственно* другъ къ другу по всей поверхности ихъ, какъ это бываетъ, напр., въ случаѣ пришабренныхъ флянцевъ (чер. 92).



Чер. 92.

Оба флянца предположимъ одинаковаго характера, именно оба **крѣпкими**, за одно цѣлое съ трубами, оба одинаковаго матеріала и одинаковой толщины.

Точное разсмотрѣніе деформацій флянцевъ и болтовъ весьма сложно и мы предположимъ здѣсь, что деформація флянца сводится къ весьма простому явленію, именно къ равномѣрному сжатію кольцеобразнаго тѣла съ поперечнымъ сѣченіемъ $abcd$ для верхняго (на чертежѣ 92) и $cdef$ для нижняго флянца. И въ этомъ предположеніи получатся весьма наглядные результаты. Точно также и деформацію болта будемъ просто считать за удлиненіе цилиндра съ діаметромъ, равнымъ наружному діаметру болта d и съ длиною, равною разстоянію между опорными торцами гайки и головки *.

Разсмотримъ сперва, что имѣетъ мѣсто тогда, когда болты предварительно затянуты, каждый съ одной и той же силою V_0, а давленія жидкости въ трубопроводѣ еще нѣтъ.

Длина ненарѣзанной части болта L_0, согласно нашему предположенію, равна двумъ толщинамъ флянца, т. е. 2Δ, и удлиненіе болта отъ силы V_0 предварительной затяжки мы можемъ написать слѣдующимъ образомъ:

$$\partial L_0 = \frac{V_0}{F_б} \cdot \frac{L_0}{E_б} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (91),$$

гдѣ $F_б$ есть площадь поперечнаго сѣченія болта по наружному діаметру d, а $E_б$ есть коэффиціентъ упругости матеріала болта при растяженіи.

Напряженіе смятія k, которое будетъ вызвано на поверхности соприкосновенія

---

* Слѣдовало бы прибавить—„въ нагруженномъ состояніи“, такъ какъ при затягиваніи болта флянцы деформируются и удлиненіе болта окончательно наступаетъ уже тогда, когда, благодаря навертыванію гайки на болтъ, флянцы и прокладки (если онѣ есть) уже нѣсколько деформировались, такъ что, строго говоря, длина стержня, которая удлиняется, будетъ нѣсколько менѣе, нежели въ то время, когда болтъ не затянутъ именно будетъ $2(\Delta - \partial\Delta)$. Вслѣдствіе того, что удлиненіе болта ∂L_0 по числовой величинѣ бываетъ гораздо значительнѣе, нежели сжатіе металлическаго флянца $\partial\Delta$, этой разницей мы и здѣсь, и даже въ дальнѣйшемъ, гдѣ прокладки предполагаются сильно упругими (резина), будемъ, для простоты, пренебрегать.

флянцевъ силою V_o, будетъ равно (въ предположеніи равномѣрнаго распредѣленія силы P_o по всей опорной поверхности $F_ф$)

$$k = \frac{V_o i}{F_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (92).$$

Въ принятомъ нами предположеніи деформированія флянца какъ кольцеобразной призмы съ высотою Δ и шириною профиля u, величина напряженія сжатія въ произвольномъ сѣченіи флянца, перпендикулярномъ къ оси трубы, будетъ тоже равна k.

Укороченіе или сжатіе флянца будетъ равно

$$\partial\Delta = \frac{k}{E_ф} \cdot \Delta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (93),$$

гдѣ $E_ф$ есть коэффиціентъ упругости матеріала флянца.

Теперь положимъ, что въ трубопроводъ пущена жидкость подъ давленіемъ p.

Какъ мы уже выяснили раньше, флянцы при этомъ должны нѣсколько разгрузиться, т. е. напряженіе смятія на опорныхъ поверхностяхъ ихъ, или, въ нашемъ примѣрѣ, все равно, напряженіе сжатія въ нихъ должно нѣсколько уменьшиться. При этомъ толщина каждаго изъ флянцевъ, которая была равна послѣ затяжки болтовъ $\Delta - \partial\Delta$, нѣсколько увеличится, положимъ, на величину t (чер. 92), * напряженіе же сжатія (или, здѣсь, все равно, и смятія) уменьшится, положимъ, на величину ∂k.

На основаніи закона Гука пишемъ соотношеніе между новыми величинами напряженія сжатія и деформаціи сжатія флянца:

$$\partial\Delta - t = (k - \partial k)\frac{\Delta}{E_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (94).$$

Вычитая это уравненіе изъ ур. (93) находимъ

$$t = \partial k \frac{\Delta}{E_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (95).$$

Такъ какъ теперь флянцы нѣсколько утолстились противъ того состоянія, въ которомъ были послѣ затяжки болтовъ, и ихъ внѣшнія поверхности, къ которымъ прилегаютъ гайки и головки болтовъ соотвѣтственно, теперь удалены другъ отъ друга на $\Delta - 2\partial\Delta + 2t$, то видно, что длина каждаго болта увеличилась теперь на величину $2t$. На основаніи закона Гука пишемъ теперь для болта соотношеніе между новой силою V, съ которою онъ теперь растягивается, и новымъ его, увеличившимся, удлиненіемъ $\partial L_o + 2t$:

$$V = (\partial L_o + 2t) F_б \cdot E_б \cdot \frac{1}{L_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (96).$$

Наконецъ, послѣднее уравненіе, необходимое намъ для рѣшенія задачи, получимъ, выразивши, что силы сопротивленія болтовъ уравновѣшиваютъ собою давленіе жидкости, дѣйствующее на наибольшую свободную поверхность и напряженіе смятія на опорной поверхности флянца. Относя всѣ силы къ одному болту, мы получаемъ:

$$V = V_p + \frac{F_ф(k - \partial k)}{i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (97).$$

Исключая теперь изъ ур.: (91), (92), (95), (96) и (97) величины ∂L_o, k, t, и ∂k, мы получимъ необходимое намъ соотношеніе между V, V_o и V_p.

---

* Для опредѣленности, на чертежѣ предположено, что деформація происходитъ такимъ образомъ, что плоскость соприкосновенія флянцевъ остается неподвижной въ пространствѣ, а флянцы при разгрузкѣ какъ бы утолщаются на величину t каждый, одинъ кверху, а другой книзу. Точно также и сжатіе ихъ на величину $\partial\Delta$ при предварительной затяжкѣ начерчено такимъ же образомъ, именно въ предположеніи, что плоскость стыка остается все время на мѣстѣ въ пространствѣ.

Произведемъ это исключеніе.

Подставимъ въ ур. (96) изъ ур. (95) величину t; получаемъ

$$V = \left[\partial L_o + \frac{2\partial k}{E_\phi}\Delta\right] F_\sigma \cdot E_\sigma \cdot \frac{1}{L_o}$$

и внесемъ сюда еще изъ ур. (91) величину ∂L_o; тогда имѣемъ:

$$V = \left[\frac{V_o L_o}{F_\sigma E_\sigma} + \frac{2\partial k}{E_\phi}\Delta\right] F_\sigma E_\sigma \cdot \frac{1}{L_o} = V_o + 2\Delta \cdot \partial k \frac{F_\sigma E_\sigma}{L_o \cdot E_\phi} \cdot \ldots\ldots (98).$$

Опредѣлимъ теперь изъ ур. (97) величину ∂k и вставимъ ее въ ур. (98); получаемъ:

$$V = V_o + 2\Delta \frac{F_\sigma E_\sigma}{L_o E_\phi}\left[\frac{V_p i}{F_\phi} - \frac{Vi}{F_\phi} + k\right] = V_o + 2\Delta \frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot \frac{V_p i}{L_o} - 2\Delta \frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot \frac{Vi}{L_o} +$$

$$+ 2\Delta \frac{F_\sigma}{L_o} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot k \cdot \ldots\ldots\ldots\ldots (99).$$

Опредѣляя отсюда V получаемъ:

$$V = \frac{V_o + 2\Delta \frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot \frac{V_p i}{L_o} + 2\frac{\Delta}{L_o} \cdot F_\sigma \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot k}{1 + 2\frac{\Delta}{L_o} \cdot \frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot i} \cdot \ldots\ldots (100).$$

Замѣняя теперь въ третьемъ членѣ числителя величину k черезъ $\frac{V_o i}{F_\phi}$, мы получаемъ:

$$V = \frac{V_o\left[1 + \frac{2\Delta}{L_o} \cdot \frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot i\right] + 2\frac{\Delta}{L_o} \cdot \frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot i \cdot V_p}{1 + \frac{2\Delta}{L_o} \cdot \frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot i} \cdot \ldots\ldots (101).$$

Припоминая, наконецъ, что $L_o = 2\Delta$, мы получаемъ окончательно:

$$V = V_o + \frac{\frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot i}{1 + \frac{F_\sigma}{F_\phi} \cdot \frac{E_\sigma}{E_\phi} \cdot i} V_p$$

или

$$V = V_o + \frac{1}{1 + \frac{F_\phi}{F_\sigma} \cdot \frac{E_\phi}{E_\sigma} \cdot \frac{1}{i}} \cdot V_p \cdot \ldots\ldots\ldots (102).$$

Такимъ образомъ, мы видимъ, что въ разсмотрѣнномъ нами простѣйшемъ случаѣ, и при допущенныхъ нами простѣйшихъ предположеніяхъ, числовая величина коэффиціента α въ уравненіи (88) равна

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{F_\phi}{F_\sigma} \cdot \frac{E_\phi}{E_\sigma} \cdot \frac{1}{i}} \cdot \ldots\ldots\ldots (103).$$

Какъ слѣдовало ожидать и заранѣе, по смыслу задачи, величина коэффиціента α зависитъ не отъ абсолютныхъ величинъ (размѣровъ деталей и характеристикъ другихъ свойствъ ихъ), а лишь отъ ихъ *отношеній*.

Для наглядности возьмемъ примѣръ.

Примѣръ. — Возьмемъ нормальную Нѣмецкую водопроводную трубу съ діам. $D_i = 300\text{mm}$. Для нея: число болтовъ $i = 12$; діаметръ болта $d = 22\text{mm}$; толщина

флянца $\Delta = 30\text{mm}$, такъ что $L_0 = 2\Delta = 60\text{mm}$. Изъ размѣровъ на тб. 75 Атласа находимъ, что $F_б = 380\,\square\text{mm}$ и $F_ф = 100000\,\square\text{mm}$. Давленіе въ трубѣ p примемъ равнымъ 10atm; флянцы предположены чугунными, т. ч. для нихъ $E_ф = 10000\,\text{kg}/\square\text{mm}$, а болты желѣзными, т. ч. для нихъ $E_б = 20000\,\text{kg}/\square\text{mm}$.

Подставляя эти величины въ ур. (102) мы получаемъ:

$$V = V_0 + \frac{1}{1 + \frac{100000}{380} \cdot \frac{10000}{20000} \cdot \frac{1}{12}} = V_0 + \frac{1}{11} V_p \quad \ldots\ldots \quad (104).$$

Положимъ, что каждый болтъ былъ предварительно затянутъ съ силою V_0 равною 1000kg. Полная сила давленія жидкости на площадь поперечнаго сѣченія трубы будетъ $iV_p = \frac{\pi \cdot 300^2}{4} \cdot 0{,}1 = \sim 7070\,\text{kg}$, а на одинъ болтъ — $V_p = \frac{7070}{12} = \sim 590\text{kg}$.

Подставляя это въ ур. (104) находимъ

$$V = 1000 + \frac{590}{11} = 1000 + 54 = 1054\text{kg}.$$

Такимъ образомъ, мы видимъ, что въ томъ случаѣ, когда между флянцами *никакой упругой прокладки нѣтъ*, а они непосредственно прикасаются другъ къ другу, къ силѣ первоначальной затяжки болтовъ *прибавляется лишь незначительная нагрузка* въ то время, когда въ трубопроводъ пущена жидкость подъ давленіемъ.

Разсмотримъ теперь слѣдующій, болѣе сложный случай.

II). — Флянцы не прикасаются непосредственно другъ къ другу, а между ними положенъ слой упругой прокладки, которой толщина есть 2ξ, а коэффиціентъ упругости есть E_r (чер. 93).

Разсмотримъ опять сперва то, что имѣетъ мѣсто въ то время, когда болты предварительно затянуты, каждый съ одною и тою же силою V_0, а давленія жидкости въ трубопроводѣ еще нѣтъ.

Длина ненарѣзанной части болта L_0, согласно нашему предположенію, равна двумъ толщинамъ флянца плюсъ толщина прокладки, такъ что

$$L_0 = 2\Delta + 2\xi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (105).$$

Удлиненіе болта отъ силы предварительной затяжки V_0 мы опять пишемъ слѣдующимъ образомъ:

$$\partial L_0 = \frac{V_0 \cdot L_0}{F_б \cdot E_б} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (106),$$

гдѣ $F_б$ есть площадь поперечнаго сѣченія болта по наружному діаметру d, а $E_б$ есть коэффиціентъ упругости болта при растяженіи.

Напряженіе смятія k, которое будетъ вызвано на поверхности соприкосновенія флянцевъ и прокладки силою V_0, будетъ равно, въ предположеніи равномѣрнаго распредѣленія силы по всей поверхности прикосновенія $F_ф$:

$$k = \frac{V_0 \cdot i}{F_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (107).$$

Въ принимаемомъ нами и здѣсь предположеніи деформированія флянцевъ и прокладки, какъ кольцеобразныхъ призмъ съ сѣченіями (на одной сторонѣ) $abcd$, $d'c'fe$ и $dcc'd'$ (чер. 93), величина напряженія сжатія въ произвольномъ поперечномъ сѣченіи флянца или прокладки, перпендикулярномъ къ оси трубы, будетъ тоже равна k.

Укороченіе или сжатіе флянца подъ дѣйствіемъ силы V_0 будетъ равно

$$\partial\Delta = \frac{k\Delta}{E_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (108),$$

гдѣ $E_ф$ есть коеэффиціентъ упругости матеріала флянца; укороченіе же или сжатіе прокладки будетъ равно

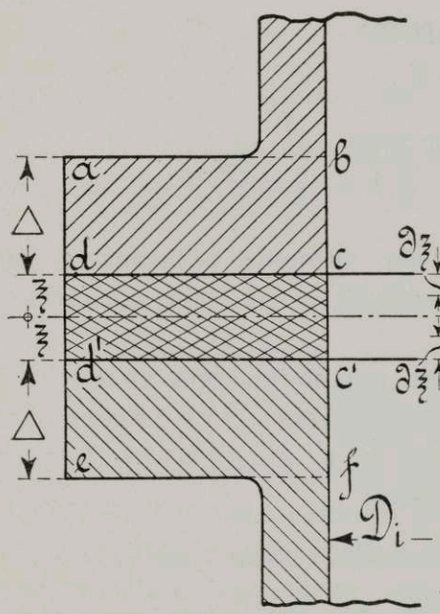
$$\partial(2\xi) = \frac{k \cdot 2\xi}{E_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (109),$$

гдѣ E_r есть коэффиціентъ упругости матеріала прокладки.

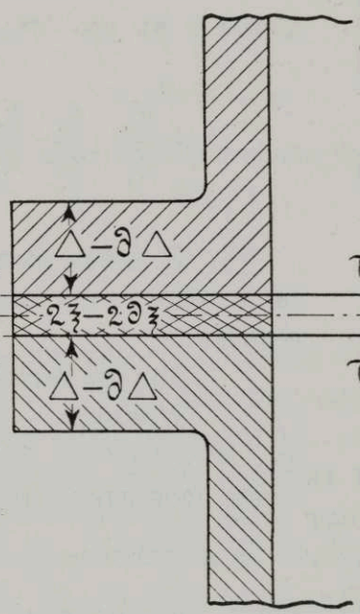
Состояніе флянцевъ и прокладки подъ дѣйствіемъ силы V_o по каждому болту представлено на чер. 94.

Теперь положимъ, что въ трубопроводъ пущена жидкость подъ давленіемъ p.

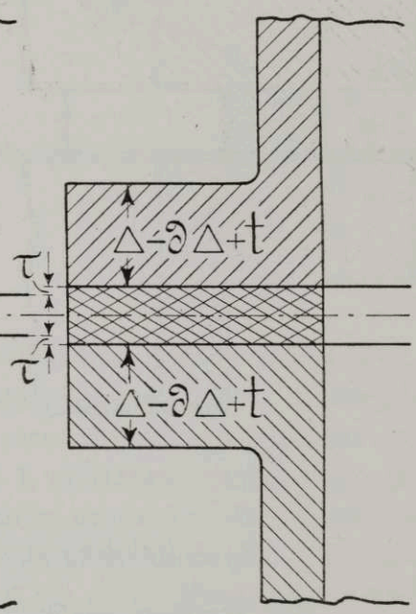
Согласно выясненному нами ранѣе, приэтомъ какъ флянцы, такъ и лежащая между ними прокладка, должны нѣсколько разгрузиться, такъ что напряженіе сжатія въ нихъ нѣсколько уменьшится, а толщина и каждаго флянца и прокладки теперь нѣсколько увеличится. Толщина каждаго флянца, которая была ранѣе равна $\Delta - \partial\Delta$, теперь станетъ нѣсколько болѣе, положимъ на величину t, слѣд. будетъ равна $\Delta - \partial\Delta + t$. Точно также, толщина прокладки теперь будетъ равна $2\xi - \partial(2\xi) + 2\tau$ (чер. 95). Напряженіе сжатія въ прокладкѣ и флянцахъ уменьшится, положимъ, на величину ∂k.



Чер. 93.



Чер. 94.



Чер. 95.

Теперь, на основаніи закона Гука, пишемъ соотношеніе между новыми величинами напряженій сжатія во флянцѣ и въ прокладкѣ и ихъ новыми толщинами:

$$\partial\Delta - t = (k - \partial k)\frac{\Delta}{E_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (110),$$

$$\partial(2\xi) - 2\tau = (k - \partial k)\frac{2\xi}{E_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (111).$$

Такъ какъ теперь толщины и флянцевъ и прокладки нѣсколько увеличились противъ того состоянія, въ которомъ онѣ были послѣ затяжки болтовъ, и внѣшнія поверхности флянцевъ, къ которымъ прилегаютъ головки и гайки болтовъ соотвѣтственно, теперь удалены другъ отъ друга на $2\Delta + 2\xi - 2\partial\Delta - \partial(2\xi) + 2t + 2\tau$, то видно, что длина каждаго болта увеличилась теперь на величину $2t + 2\tau$. На основаніи закона Гука пишемъ теперь для болта соотношеніе между новой силою V, съ которою онъ теперь растягивается, и новымъ его увеличившимся удлиненіемъ:

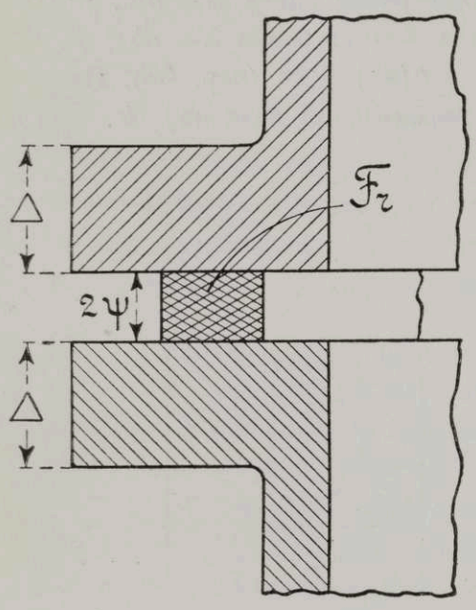
$$V = (\partial L_o + 2t + 2\tau) \cdot F_б \cdot E_б \cdot \frac{1}{L_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (112).$$

Наконецъ, послѣднее уравненіе, необходимое для рѣшенія задачи, получимъ выразивши, что силы сопротивленія болтовъ уравновѣшиваютъ собою давленіе жидкости, дѣйствующее на наибольшую свободную поверхность и напряженіе смятія на опорной поверхности флянца. Относя всѣ силы къ одному болту получаемъ

$$V = V_p + (k - \partial k)\frac{F_\phi}{i} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (113).$$

Исключая теперь изъ ур.: (106), (107), (108), (109), (110), (111), (112) и (113) величины ∂L_o, k, t, τ, ∂k, $\partial\Delta$ и $\partial(2\xi)$, мы получимъ необходимое намъ соотношеніе между V, V_o и V_p.

Продѣлавъ исключеніе подобно тому, какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ, мы получимъ въ окончательномъ результатѣ:



Чер. 96.

$$V = V_o + \frac{1}{1 + \frac{F_\phi}{F_\delta}\cdot\frac{L_o E_\phi E_r}{2(\Delta E_r + \xi E_\phi)E_\delta i}} V_p \quad \cdots \quad (114).$$

Стало быть, здѣсь числовая величина коэффиціента α въ ур. (88) равна

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{F_\phi}{F_\delta}\cdot\frac{L_o}{2\Delta}\cdot\frac{E_\phi}{E_\delta}\cdot\frac{1}{\left(1 + \frac{\xi}{\Delta}\cdot\frac{E_\phi}{E_r}\right)i}} \quad \cdots \quad (115).$$

И здѣсь, конечно, числовая величина α зависитъ только отъ *отношеній*, а не отъ абсолютныхъ величинъ.

Для наглядности возьмемъ опять примѣръ.

Примѣръ.—Предположимъ чугунные флянцы, желѣзные болты и кожаную въ 4mm толщины прокладку. Примемъ:

$$E_\phi = 10000\ \text{kg/}\square\text{mm}; \quad E_\delta = 20000\ \text{kg/}\square\text{mm}; \quad E_r = 20\ \text{kg/}\square\text{mm}.$$

Всѣ размѣры трубы и флянца предположимъ тѣ же, что и въ предыдущемъ примѣрѣ; давленіе опять примемъ равнымъ 10atm. Только длина болта L_o будетъ здѣсь $2.30 + 5 = 65$.

Подставляя всѣ величины въ ур. (114) находимъ

$$V = V_o + \frac{1}{1 + \frac{100000}{380}\cdot\frac{65\cdot 10000\cdot 20}{2\cdot(30\cdot 20 + 2\cdot 10000)\cdot 20000\cdot 12}} V_p = V_o + 0{,}75\cdot V_p.$$

Разсмотримъ еще третій, болѣе сложный случай, когда прокладка представляетъ кольцо, ширина котораго меньше, нежели ширина флянцевъ. Предположимъ и здѣсь простѣйшія деформаціи, именно, положимъ, что каждый флянецъ опять сжимается равномѣрно, какъ центрально нагруженная призма кольцевого сѣченія, и что прокладочное кольцо наше, независимо отъ его положенія, тоже сжимается равномѣрно. Пусть толщина прокладки будетъ 2ψ, а коэффиціентъ упругости ея E_r (чер. 96).

Разсмотримъ сперва то, что произойдетъ, когда болты предварительно затянуты, каждый съ одною и тою же силою V_o, а давленія жидкости въ трубопроводѣ нѣтъ.

Длина ненарѣзанной части болта L_o, согласно нашему предположенію, равна двумъ толщинамъ флянца плюсъ толщина прокладки, такъ что

$$L_o = 2\Delta + 2\psi \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (116).$$

Удлиненіе болта отъ силы предварительной затяжки V_0 будетъ по прежнему:

$$\partial L_0 = \frac{V_0 \cdot L_0}{F_б \cdot E_б} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (117),$$

гдѣ $F_б$ есть площадь поперечнаго сѣченія болта по наружному діаметру d, а $E_б$ — коэффиціентъ упругости болта при растяженіи.

Напряженіе сжатія во флянцѣ выразится такимъ образомъ:

$$k_ф = \frac{V_0 i}{F_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (118),$$

гдѣ $F_ф$ есть площадь сѣченія флянца, а напряженіе сжатія прокладочнаго кольца (и равное ему напряженіе смятія на поверхности прикосновенія кольца и флянца) k_r выразится такъ:

$$k_r = \frac{V_0 i}{F_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (119).$$

Уменьшеніе толщины флянца подъ дѣйствіемъ силы V_0 будетъ

$$\partial\Delta = \frac{V_0 i \Delta}{F_ф E_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (120),$$

гдѣ $E_ф$ есть коэффиціентъ упругости матеріала флянца, а уменьшеніе толщины прокладки подъ дѣйствіемъ той же силы V_0 будетъ

$$\partial(2\psi) = \frac{V_0 i \cdot 2\psi}{F_r E_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (121).$$

Теперь положимъ, что въ трубопроводъ пущена жидкость подъ давленіемъ p.

Согласно выясненному нами ранѣе, приэтомъ какъ флянцы, такъ и лежащая между ними прокладка должны нѣсколько разгрузиться, такъ что напряженіе сжатія въ нихъ нѣсколько уменьшится, а толщина каждаго флянца и прокладки теперь нѣсколько увеличится. Толщина каждаго флянца, которая была ранѣе равна $\Delta - \partial\Delta$, теперь станетъ нѣсколько болѣе, положимъ на величину t, слѣд. будетъ равна $\Delta - \partial\Delta + t$. Точно также, толщина прокладки теперь будетъ равна $2\psi - \partial(2\psi) + 2\tau$. Напряженіе сжатія во флянцѣ уменьшится, положимъ, на величину $\partial k_ф$, а напряженіе сжатія въ прокладкѣ уменьшится, положимъ, на величину ∂k_r.

Теперь, на основаніи закона Гука, пишемъ соотношенія между новыми величинами напряженій сжатія во флянцѣ и въ прокладкѣ и новыми ихъ толщинами:

$$\partial\Delta - t = (k_ф - \partial k_ф) \cdot \frac{\Delta}{E_ф} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (122),$$

$$\partial(2\psi) - 2\tau = (k_r - \partial k_r) \frac{2\psi}{E_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (123).$$

Такъ какъ теперь толщины флянцевъ и прокладки нѣсколько увеличились противъ того состоянія, въ которомъ онѣ были послѣ затяжки болтовъ, и внѣшнія поверхности флянцевъ, къ которымъ прилегаютъ гайки и головки болтовъ соотвѣтственно, теперь удалены другъ отъ друга на $2\Delta + 2\psi - 2\partial\Delta - \partial(2\psi) + 2t + 2\tau$, то видно, что длина каждаго болта увеличилась теперь на величину $2t + 2\tau$. На основаніи закона Гука пишемъ теперь для болта соотношеніе между новой силою V, съ которою онъ теперь растягивается и его новымъ, увеличившимся удлиненіемъ:

$$V = (\partial L_0 + 2t + 2\tau) \cdot F_б \cdot E_б \cdot \frac{1}{L_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (124).$$

Наконецъ, послѣднее уравненіе, необходимое для рѣшенія задачи, получимъ, выразивши, что силы сопротивленія болтовъ уравновѣшиваютъ собою давленіе жидкости, дѣйствующее на наибольшую свободную поверхность, и напряженіе смятія на опорной поверхности флянца. Относя всѣ силы къ одному болту получаемъ:

$$V = V_p + (k_\phi - \partial k_\phi)\frac{F_\phi}{i} = V_p + (k_r - dk_r)\frac{F_r}{i} \quad \cdots\cdots \quad (125).$$

Исключивши опять, подобно предыдущему, всѣ деформаціи изъ написанныхъ нами уравненій, получимъ окончательно:

$$V = V_o + \frac{1}{1 + \frac{F_\phi}{F_б}\cdot\frac{L_o}{2\Delta}\cdot\frac{E_\phi}{E_б}\cdot\frac{1}{\left(1 + \frac{\psi}{\Delta}\cdot\frac{E_\phi}{E_r}\cdot\frac{F_\phi}{F_r}\right)\cdot i}} V_p \quad \cdots\cdots \quad (126),$$

такъ что величина коэффиціента α здѣсь равна

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{F_\phi}{F_б}\cdot\frac{L_o}{2\Delta}\cdot\frac{E_\phi}{E_б}\cdot\frac{1}{\left(1 + \frac{\psi}{\Delta}\cdot\frac{E_\phi}{E_r}\cdot\frac{F_\phi}{F_r}\right)\cdot i}} \quad \cdots\cdots \quad (127),$$

и опять, конечно, зависитъ только отъ отношеній.

Взявши числовой примѣръ и продѣлавши его, можно видѣть, что и здѣсь результаты получатся подобные тому, какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ, т. е. что увеличеніе силы V по сравненію съ V_o выйдетъ здѣсь весьма значительнымъ, если прокладка очень упругая.

Разсмотрѣнные простѣйшіе примѣры, которые я нарочно продѣлалъ по возможности подробно, показываютъ намъ совершенно ясно и съ достаточною точностью, въ чемъ лежитъ *суть дѣла* въ разбираемомъ вопросѣ. Если бы мы смогли рѣшить нашу задачу и болѣе точно, принимая во вниманіе дѣйствительныя, болѣе сложныя деформаціи флянцевъ, болтовъ и пр. тѣлъ, то мы получили бы результаты нѣсколько иные по числовой величинѣ, но совершенно того же характера. Суть дѣла и тогда осталась бы та же и состоитъ она, какъ видно, въ слѣдующей, такъ сказать теоремѣ:

> *Если матеріалъ флянцевъ и прокладки весьма жёстокъ, такъ что деформируется очень мало (чугунъ и др. твердые металлы), то, отъ дѣйствія давленія жидкости, къ силѣ первоначальной затяжки болта V_o прибавляется лишь* ***весьма незначительная часть*** *полной силы V_p, которая причитается на каждый болтъ, если бы давленіе передалось на болты полностію. Если же между флянцами лежитъ прокладка* ***очень упругая, сильно пружинящая, съ большою деформаціей,*** *то къ силѣ первоначальной затяжки V_o прибавляется* ***значительная*** *часть силы отъ давленія жидкости V_p, а если прокладка чрезвычайно упруга (резина, да еще съ значительною толщиною 2ψ, пружинящее стальное и т. под. кольцо), то можно практически говорить, что* **все** *давленіе жидкости прибавляется къ силѣ первоначальной затяжки и передается на болты полностію.*

Это необходимо, конечно, имѣть въ виду при расчетѣ болтовъ, свертывающихъ флянцы.

Если бы мы изъ нашихъ уравненій упругости исключили не деформаціи, а напряженія, то получили бы величину силы V въ функціи деформацій, и именно въ видѣ

$V = V_p + \beta V_o$ и изъ этого соотношенія еще яснѣе видѣли бы, что все дѣло въ вопросѣ о величинѣ коэффиціента α обусловлено именно *отношеніемъ деформацій*, съ одной стороны — болтовъ, а съ другой — того, что̀ сжато между ихъ головками и гайками *. Если деформація болта во много разъ болѣе деформаціи флянцевъ и прокладки, то отъ малѣйшаго удлиненія болта, не причиняющаго ему замѣтной прибавки напряженія и нагрузки, флянцы уже почти разойдутся и сила первоначальной затяжки почти исчезаетъ. Если же деформація флянцевъ и прокладки во много разъ болѣе деформаціи болтовъ, то удлиненіе болта на величину, которая означаетъ для него уже значительную прибавку нагрузки, почти не разгружаетъ флянцевъ и вся сила первоначальной затяжки сохраняется, поддерживаясь по прежнему сильно прижатыми флянцами и прокладкой. Это наглядное объясненіе сути нашихъ формулъ можетъ быть полезно для элементарнаго изложенія учащимся.

Какъ уже было сказано ранѣе, вопросъ о томъ, что̀ происходитъ съ болтами флянцевъ, нагруженныхъ давленіемъ жидкости, весьма неясно трактовался въ технической литературѣ и только въ сравнительно послѣднее время выясненъ болѣе или менѣе правильно. Во многихъ популярныхъ изложеніяхъ правильнаго рѣшенія этого вопроса авторы, для наглядности, часто прибѣгаютъ къ помощи *пружинъ*, для того, чтобы нагляднѣе представить упругость тѣлъ, хотя мы не находимъ нужнымъ входить здѣсь въ изложеніе такихъ пріемовъ.

Теперь мы видимъ, что точное опредѣленіе наибольшей силы V, дѣйствующей по болтамъ въ моменты нахожденія въ трубѣ жидкости подъ наибольшимъ возможнымъ давленіемъ, является вопросомъ весьма нелегкимъ, вопервыхъ, вслѣдствіе трудности опредѣленія коэффиціентовъ α и β, необходимыхъ для нахожденія силы V, а вовторыхъ, еще и вслѣдствіе той неизвѣстности, въ которой мы находимся относительно величины силы V_o предварительной затяжки болта. Въ самомъ дѣлѣ, сила эта обусловлена, съ одной стороны, такимъ неопредѣленнымъ факторомъ, какъ длина рукоятки гаечнаго ключа, а съ другой—еще и болѣе неопредѣленымъ факторомъ—тою силою, которую слабый или сильный, умѣлый или неумѣлый, усердный или лѣнивый рабочій будетъ прикладывать къ этой рукояткѣ во время сборки трубопровода, когда онъ будетъ свертывать флянцы, или когда машинистъ, подтягивая ослабнувшій флянецъ, будетъ тянуть болтъ что есть силы, для того, чтобы флянецъ не текъ.

По поводу того, какова бываетъ наибольшая возможная сила V_o, которую можно ожидать въ практикѣ, написано весьма много, но никакихъ опредѣленныхъ результатовъ изъ всего написаннаго извлечь нельзя, и потому я, для того, чтобы не увеличивать въ объемѣ и безъ того сильно разросшійся настоящій отдѣлъ, въ подробности входить не стану. Изъ детальныхъ размѣровъ различныхъ соединеній трубъ, приведенныхъ въ Атласѣ, читатель можетъ безъ затрудненій вывести самъ данныя относительно величинъ V_o (по сравненію съ V_p), которыя приняты различными лицами и Обществами, устанавливавшими различныя Нормы. Кстати же замѣчу, что въ ряду многихъ грѣховъ, которые должны быть поставлены въ вину завѣдующимъ Механическими Лабораторіями, какъ заграницей такъ и въ Россіи (вторымъ—менѣе, первымъ—болѣе), слѣдуетъ поставить и то, что нигдѣ не произведено опытовъ (которые, сравнительно, весьма просты)

---

* Такъ напр., для простѣйшаго случая I), мы вмѣсто уравненія (102) получили бы

$$V = V_p + \left(1 - \frac{t}{\partial\lambda}\right) V_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (128),$$

и, какъ видно, величина коэффиціента β въ нашемъ ур. (89) равна въ разсматриваемомъ простѣйшемъ случаѣ

$$\beta = 1 - \frac{t}{\partial\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (129),$$

и изъ этого соотношенія совершенно ясно видно вліяніе разгрузки флянцевъ на силу, дѣйствующую по болту.

для выясненія всѣхъ тѣхъ вопросовъ, о которыхъ мы тутъ трактовали, именно о величинахъ напряженій и деформацій въ соединеніяхъ трубъ и о величинахъ силъ предварительной затяжки V_o, обычныхъ въ хорошей практикѣ. Такихъ изслѣдованій совершенно не имѣется ни въ иностранной, ни, тѣмъ болѣе, конечно, въ Русской литературѣ. Русскимъ Механическимъ Лабораторіямъ, которыя существуютъ безъ года недѣлю и съ трудомъ завоевываютъ себѣ жалкія средства и право на существованіе, ставить серьезно въ вину отсутствіе такихъ изслѣдованій, конечно, я не рѣшусь, что же касается заграничныхъ Лабораторій, то надо удивляться тому, какъ мало онѣ до сихъ поръ занимаются самыми насущными вопросами, необходимыми для конструированія, и какъ мало опредѣлили онѣ опытнымъ путемъ тѣхъ коэффиціентовъ и данныхъ, которыя только такимъ путемъ и могутъ быть получены и которые *положительно необходимы для практики!* За отсутствіемъ же такихъ данныхъ приходится пробавляться или отрывочными, случайными данными практики, или, что еще хуже, чисто схоластическими разглагольствованіями многочисленныхъ авторовъ изъ которыхъ извлечь почти ничего надежнаго невозможно за отсутствіемъ опытныхъ изслѣдованій.

Дѣло болѣе или менѣе надежнаго расчета затянутыхъ болтовъ и флянцевъ усложняется, однако, кромѣ того и еще двумя новыми обстоятельствами, именно, во-первыхъ тѣмъ, что болты, кромѣ растяженія, подвергаются еще и скручиванію, а во-вторыхъ тѣмъ, что въ практикѣ затяжка болтовъ никогда не бываетъ одинаковой и рабочій, какъ бы онъ ни старался, всегда затянетъ одинъ болтъ сильнѣе, а другой—слабѣе. Эти оба обстоятельства еще болѣе затрудняютъ точный расчетъ и болтовъ и флянцевъ.

Что касается закручиванія болта, то о немъ подробно говорится въ курсахъ „Деталей Машинъ“ и мы здѣсь ограничимся лишь замѣчаніемъ, что закручиваніе въ особенности опасно для тонкихъ болтовъ, съ *малымъ діаметромъ*. Объясняется это тѣмъ, что сопротивленіе болта растяженію пропорціонально его площади, т. е. квадрату діаметра, сопротивленіе же крученію пропорціонально *кубу* діаметра и потому вліяніе закручиванія будетъ очень замѣтно именно для *тонкихъ* болтовъ, что̀ и учитываетъ практика.

Вліяніе неравномѣрной затяжки болтовъ отражается, главнымъ образомъ, на перекосѣ флянцевъ и на ихъ неравномѣрномъ изгибѣ; для расчета же болтовъ оно имѣетъ мало значенія, разъ мы надежнымъ образомъ выяснимъ наибольшую возможную величину V_o.

Если мы назовемъ напряженіе растяженія, появляющееся въ болтѣ отъ силы предварительной затяжки V_o, черезъ $z_б$, напряженіе растяженія отъ силы αV_p черезъ z_p и напряженіе отъ скручиванія, обусловленное треніемъ рѣзьбы и гайки, черезъ T, то предполагая, что подтягиваніе гайки можетъ происходить и тогда, когда трубопроводъ находится подъ давленіемъ, мы наибольшее напряженіе въ болтѣ получимъ *) въ видѣ

$$\sigma = \frac{3}{8}(z_б + z_p) + \frac{5}{8}\sqrt{(z_б + z_p)^2 + 4T^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (130),$$

и размѣры болтовъ мы должны были бы опредѣлить такимъ образомъ, чтобы величина σ не превосходила допускаемаго для болта напряженія z.

Но ввиду неизвѣстности: силы V_o, коэффиціента α и напряженія T, поступаютъ въ практикѣ иначе, именно, расчитываютъ чаще всего болты на простое растяженіе подъ дѣйствіемъ одной лишь полной силы давленія жидкости P_p (или V_p на каждый болтъ) по формулѣ

$$V_p = z' \cdot \frac{\pi d_1^{\,2}}{4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (131),$$

---

* относя всѣ напряженія къ сѣченію болта по внутреннему діаметру рѣзьбы d_1.

и стараются выбрать * такое (фиктивное) допускаемое напряженіе z', чтобы, при полученныхъ изъ этого расчета размѣрахъ, дѣйствительное напряженіе въ болтѣ σ не превосходило бы дѣйствительно допустимой величины z.

Въ настоящее время практика обрывовъ тысячъ *тонкихъ* болтовъ выяснила, что фиктивное напряженіе z' для нихъ при расчетѣ по формулѣ (131) надо принимать весьма малымъ, именно не болѣе 2 или 2,5kg/□mm; чѣмъ толще болты, тѣмъ фиктивное напряженіе z' можетъ быть выбираемо болѣе и для толстыхъ болтовъ можетъ доходить даже до 4kg/□mm. Попросту говоря, это значитъ, что тонкихъ болтовъ для сильно затягиваемыхъ флянцевъ **совсѣмъ ставить нельзя** и это сводится къ извѣстному практическому правилу, которое уважаемый проф. Гавриленко сообщалъ намъ еще 20 лѣтъ тому назадъ, именно, что для болтовъ всѣхъ соединеній, гдѣ нужна герметичность и сильная затяжка болтовъ, ставить болты тоньше $^3/_4$ дюйма не годится, ибо они, все равно, будутъ оборваны въ работѣ.

Данныя для допускаемыхъ напряженій, приведенныя на табл. 87 *Атласа,* въ Нормахъ Нѣмецкихъ Инженеровъ, показываютъ полное согласіе съ сказаннымъ выше.

Изъ литературныхъ источниковъ, могущихъ принести извѣстную пользу при сужденіи о разсматриваемомъ здѣсь вопросѣ расчета затянутыхъ болтовъ, укажу на превосходное сочиненіе Англійскаго инженера G. Croydon Marx: „Hydraulic Power Engineering“, гдѣ вопросъ разобранъ весьма ясно и подробно и затѣмъ на „Детали Машинъ“ Баха.

Разобравши подробно вопросъ о прочности флянцевъ, скажемъ теперь нѣсколько словъ объ ихъ *герметичности,* въ дополненіе къ тому, что уже сказано въ главѣ IV. Тамъ мы разсмотрѣли общія соображенія, которыми обусловлена возможность проникновенія жидкости сквозь стыкъ двухъ трубъ, здѣсь же познакомимся подробнѣе съ наиболѣе употребительными средствами, служащими для достиженія герметичности.

Какъ уже сказано въ главѣ IV, герметичность стыка двухъ флянцевъ сравнительно рѣдко достигается непосредственнымъ прикосновеніемъ ихъ металлическихъ поверхностей. Несравненно чаще между двумя флянцами кладется промежуточное тѣло, *прокладка,* болѣе мягкое, податливое, нежели сами флянцы, которое, разминаясь подъ дѣйствіемъ силы затяжки болтовъ, заполняетъ мельчайшія углубленія въ поверхностяхъ флянцевъ и обезпечиваетъ герметичность при давленіяхъ даже въ сотни атмосферъ. О наиболѣе употребительныхъ такихъ прокладкахъ мы здѣсь теперь и поговоримъ подробнѣе.

1). **Бумага, картонъ и кожа.** Изъ толстой бумаги или картона (толщиною до 3mm), а еще лучше изъ азбестоваго картона (толщиною до 4mm) вырѣзывается кольцеобразный цѣльный кружокъ, такого размѣра, чтобы онъ имѣлъ внутренній діаметръ настолько большимъ, что онъ можетъ быть одѣтъ окружая болты, или же наоборотъ, наружный діаметръ кольца берется такимъ, чтобы оно помѣстилось внутри стоящихъ по кругу болтовъ. Картонъ этотъ пропитываютъ льнянымъ масломъ, а еще лучше лакомъ изъ такового (Leinölfirniss); иногда его еще покрываютъ слегка сурикомъ. Хедеръ совѣтуетъ передъ пропитываніемъ масломъ бумагу или картонъ слегка смочить, чтобы лучше раскрылись бы поры и впитали бы масло.

Прокладка изъ *картона* употребляется и при водѣ и при парѣ. Она дешева и ее легко вездѣ получить. Но она очень непрочна и при большой толщинѣ легко можетъ быть разорвана давленіемъ жидкости. При разборкѣ трубъ картонъ обыкновенно повреждается и его приходится смѣнять.

Для перегрѣтаго пара W. H. Booth рекомендуетъ азбестовый картонъ натертый графитомъ.

Тонкій кружокъ или кольцо, вырѣзанное изъ *кожи,* является превосходной про-

---

* на основаніи всѣхъ изложенныхъ ранѣе соображеній

кладкой въ смыслѣ герметичности, но пригоденъ только для холодныхъ жидкостей и чаще всего идетъ для воды. Для пара и кипятка кожа не годится, ибо портится.

2). **Вулканизированная фибра.** Она примѣняется для газо- и водопроводовъ, и не нуждается въ пропитываніи. Можетъ быть употребляема и при паропроводахъ.

3). **Шнуръ изъ ткани, наполненной азбестомъ;** бываетъ обыкновенно круглаго или квадратнаго сѣченія и кладется прямо на точеную поверхность флянцевъ или же запрятывается въ углубленіе, выточенное во флянцѣ.

4). **Пеньковое кольцо,** пропитанное жиромъ или сурикомъ; можетъ служить только для временныхъ соединеній, а для продолжительной работы не годится и держится еще хуже, чѣмъ картонъ.

5). **Кольца изъ целлюлозы,** около 3mm толщиною; пропитываются водою и кладутся, какъ и другія, между флянцами; годятся для кислотъ, щелочныхъ растворовъ и т. п.

6). **Резиновыя кольца,** изъ шнуровъ круглаго или квадратнаго сѣченія, употребляются при газо- и водопроводахъ; подробности о нихъ см. въ „чугунныхъ трубахъ“. Для паропроводовъ резина мало пригодна.

7). **Кольцо, вырѣзанное изъ тонкой листовой резины** въ 3—4mm; ставится на мѣсто подобно картонному.

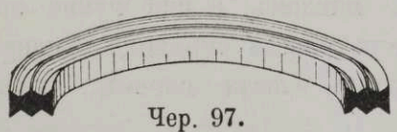
Оба рода колецъ, 6) и 7), совѣтуютъ обертывать матеріей, напр. полотномъ или фланелью. Иногда же такія прослойки находятся въ толщѣ кольца.

8). **Кольца изъ чистаго свинца,** съ поперечнымъ прямоугольнымъ сѣченіемъ около 10mm шириною и 4—5mm толщиною, кладутся обыкновенно въ выточки, сдѣланныя во флянцахъ, подобно резиновому шнуру. Эти кольца тоже иногда обертываютъ просмоленой матеріей.

9). **Свинцовыя тонкія кольца,** обмотанныя кругомъ нитками и покрытыя суриковой или глицериновой замазкой.

Свинцовыя кольца не выносятъ высокой температуры и идутъ больше для воды. Для достиженія герметичности свинцовыя кольца должны быть *непремѣнно отливаемы цѣльными*, въ одинъ кусокъ, а никакъ не сгибаемы изъ полосокъ; отливка должна быть возможно точная и плотная, безъ пороковъ.

10). **Гладкія кольца изъ красной мѣди** около 2mm толщиною, и кольца съ круглымъ сѣченіемъ отъ 1,5 до 6mm въ діаметрѣ, смотря по діаметру трубы.

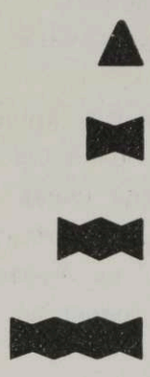

Чер. 97.

Относительно колецъ съ круглымъ сѣченіемъ слѣдуетъ замѣтить, что онѣ сильно сминаются и потому, если приходится соединеніе разобрать, то лучше ставить затѣмъ новое кольцо, ибо старое, принявъ иное положеніе (и ставши отъ времени жестче), можетъ быть источникомъ течи. Въ крайности, за отсутствіемъ запасныхъ колецъ, надо старое кольцо прокалить до темнокраснаго каленія и охладить въ водѣ, чтобы вернуть ему мягкость.

11). **Кольца изъ красной мѣди съ фасоннымъ сѣченіемъ.** Чаще всего встрѣчается форма сѣченія, показанная на чер. 97, причемъ число реберъ бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ болѣе діаметръ трубы. На чер. 98 показаны въ натуральную величину наиболѣе употребительные формы и размѣры сѣченій такихъ колецъ.

Для полученія герметичности при прокладкахъ №№ 10 и 11 необходима весьма сильная затяжка болтовъ, т. е. большая величина силы V_0, и это приходится даже

имѣть въ виду при выборѣ размѣровъ болтовъ, если намѣрены ставить мѣдныя кольца сказанныхъ формъ. Кромѣ того, необходимо, чтобы на обработанной поверхности флянцевъ не было бы раковинъ и поръ, иначе герметичность, конечно, никогда не будетъ достигнута, въ особенности при простомъ кольцѣ изъ круглой проволоки, которое,



. . . . для колецъ съ наружнымъ діаметромъ не болѣе 12 дюймовъ

. . . . „ „ „ „ „ отъ 12 до 20 „

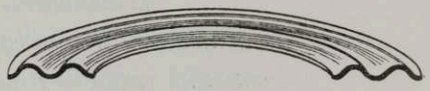
. . . . „ „ „ „ „ свыше 20 дюймовъ

Чер. 98 (*натуральная* величина).

однако, вообще очень рекомендуютъ. Оба рода прокладокъ (№№ 10 и 11) примѣняются преимущественно для пара высокаго давленія.

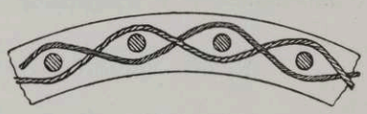
12). **Стальныя и красной мѣди кольца съ волнистымъ сѣченіемъ,** чер. 99. Примѣняются при паропроводахъ.

13). **Металлическія (бронзовыя) линзы** или кольца чечевицеобразнаго сѣченія. О нихъ подробно говорится далѣе, въ „желѣзныхъ и мѣдныхъ трубахъ".



Чер. 99.

14). **Суриковая или глицериновая замазка** *, смѣшанная иногда съ пенькой, размазывается по поверхности флянца, а вокругъ болтовъ по окружности флянца кладутся въ переплетъ двѣ нити (чер. 100). Требуетъ сильной затяжки болтовъ, иногда даже съ подогрѣвомъ ихъ. Свѣжую замазку, пока она нѣсколько не отвердѣетъ, не слѣдуетъ подвергать дѣйствію сильнаго (пробнаго) давленія.



Чер. 100.

Кромѣ описанныхъ прокладокъ, такъ сказать однородныхъ, которыя сами должны заботиться и о своей прочности и герметичности, существуетъ цѣлая масса *сложныхъ* прокладокъ, состоящихъ обыкновенно изъ соединенія металла, долженствующаго дать прокладкѣ прочность, и какого нибудь мягкаго матеріала, дающаго герметичность. Таковы напримѣръ:

15). **Кольца изъ металлической ткани, между которыми проложены слои резины.** Рекомендуется для пара съ давленіемъ не свыше 6atm.

16). **Такія же прокладки,** но только вмѣсто резины употребленъ **азбестъ.**

---

* Рецепты этихъ замазокъ такіе (по Гаузбранду):

Для изготовленія *суриковой* замазки (при паровыхъ трубахъ) берутъ

Сурика . . . . . 30 kg
Бѣлилъ свинцовыхъ . . . . . 60 kg
Зильберглета . . . . . 10 kg
Олифы . . . . . 5 литровъ

и смѣшиваютъ все это въ видѣ пластичной замазки.

Для изготовленія *глицериновой* замазки смѣшиваютъ зильберглетъ и по возможности безводный глицеринъ, или же берутъ: 1 вѣсовую часть сурика, 2 вѣсовыхъ части бѣлилъ свинцовыхъ и сбиваютъ вмѣстѣ съ глицериномъ; эта замазка твердѣетъ быстрѣе суриковой.

Форма тканей и прочихъ скелетовъ для принятія мягкаго матеріала бываетъ весьма разнообразна и „патентованныхъ“ прокладокъ различныхъ именъ очень много.

Въ Атласѣ у насъ имѣется, кромѣ того, разсѣянными по всѣмъ таблицамъ, много различныхъ прокладокъ, описанныхъ на соотвѣтственныхъ таблицахъ.

Сдѣлаемъ, въ заключеніе настоящаго параграфа, еще одно замѣчаніе относительно прокладокъ съ точки зрѣнія прочности флянцевъ.

Прокладки можно раздѣлить съ этой точки зрѣнія на два класса, именно: прокладки *широкія*, занимающія всю ширину флянца или значительную ея часть и прокладки *узкія*, при которыхъ опорная поверхность прокладки и флянца очень узка и иногда теоретически сводится къ геометрической линіи (напр. кольцо круглаго сѣченія).

При прокладкахъ п е р в а г о класса отъ силъ, дѣйствующихъ по болтамъ, изгиба флянцевъ или совершенно быть не можетъ, или же онъ будетъ только въ сравнительно незначительной степени.

При прокладкахъ же в т о р о г о класса прокладка является линіей опоры и отъ силъ болтовъ флянецъ гнется, какъ подробно разобрано ранѣе, и величина сгибающаго момента тѣмъ болѣе, чѣмъ больше разстояніе между болтовымъ кругомъ и опорнымъ кругомъ прокладки. Поэтому, здѣсь флянцы должны быть дѣлаемы толще, нежели въ первомъ случаѣ и для уменьшенія толщины ихъ *положительно необходимо*, какъ мы говорили и ранѣе,

> *уменьшать разстояніе между болтами и прокладкой до послѣдней возможности, ставя болты какъ можно ближе къ стѣнкѣ трубы и ставя прокладку какъ можно ближе къ болтамъ.*

Въ практикѣ оба эти въ высшей степени важныхъ обстоятельства до послѣдняго времени не получали должнаго вниманія.

Относительно конструированія соединеній **муфтами на** рѣзьбѣ особенно много говорить не приходится и всѣ подробности по этому вопросу отнесены прямо въ отдѣлъ о желѣзныхъ и мѣдныхъ трубахъ.

§ 42. Общей задачей устройства всякаго трубопровода является:

> Разведеніе жидкости изъ нѣсколькихъ мѣстъ ея полученія, A_1, A_2, A_3, · · · · · A_n, въ нѣсколько мѣстъ потребленія B_1, B_2, B_3 · · · · · B_m, (причемъ число m можетъ быть и болѣе n и менѣе), при измѣненіи, въ нѣсколькихъ мѣстахъ сѣти, или напора, или количества (а иногда того и другого вмѣстѣ) жидкости, текущей по извѣстному направленію въ одной или нѣсколькихъ трубахъ, на иные.

Сообразно этой общей цѣли, а затѣмъ множеству детальныхъ условій (свойства жидкости, величина давленія, характеръ среды, окружающей трубопроводъ, условія прочности, герметичности, долговѣчности, перевозки, стоимости и пр. и пр.) производится *выборъ матеріала* для трубопровода, или сразу всего, или отдѣльныхъ его частей.

Задача допускаетъ нѣсколько рѣшеній. Въ каждой странѣ, разными конструкторами и строителями придается преимущественное значеніе тѣмъ или инымъ соображеніямъ и поэтому въ практикѣ наблюдаются различныя рѣшенія задачи при одинаковыхъ заданіяхъ. Нѣкоторыя важнѣйшія соображенія укажемъ говоря подробно о трубахъ изъ различныхъ матеріаловъ.

Встрѣчающіяся въ практикѣ трубы можно раздѣлить на *металлическія* и *не металлическія*. Наибольшимъ распространеніемъ пользуются первыя.

Изъ металлическихъ трубъ наиболѣе распространенными и важными являются трубы чугунныя, желѣзныя и стальныя, изъ красной мѣди и свинцовыя. Разсмотримъ

эти трубы подробно. Замѣчу, что при расположеніи матеріала, какъ въ Атласѣ такъ и въ настоящей книгѣ, можно было бы расположить его по различнымъ соединеніямъ трубъ, именно: соединенія раструбами, соединенія флянцами, соединенія муфтами на рѣзьбѣ и пр. Я предпочелъ однако держаться другого расположенія, хотя оно и менѣе систематично. Именно, въ Атласѣ чертежи расположены по матеріаламъ трубъ и сообразно этому будетъ вестись и описаніе ихъ въ книгѣ. Собственно, вѣрнѣе будетъ сказать— даже не по матеріаламъ, а по способамъ изготовленія трубъ, такъ какъ конструкція соединеній стоитъ въ тѣснѣйшей связи со способомъ изготовленія самихъ трубъ. Въ Атласѣ металлическія трубы раздѣлены на три главные типа:

1). Чугунныя трубы (и стальныя литыя),

2). Желѣзныя трубы,

3). Мѣдныя трубы.

Правильнѣе было раздѣлить такъ

1). Трубы, изготовляемыя отливкой (литыя изъ чугуна или стали);

2). Трубы, получаемыя гладкими (прокатныя и тянутыя).

Но и это дѣленіе не строго, ибо Маннесмановскія трубы получаются прокаткой, но съ готовыми раструбами. Поэтому, за особенной строгостію классификаціи я гнаться не буду, да она и не важна. Буду держаться болѣе или менѣе дѣленія, принятаго въ Атласѣ.

ГЛАВА VI.

Чугунныя и стальныя трубы, получаемыя отливкой и ихъ соединенія.

§ 43. Чугунныя трубы употребляются весьма часто, главнымъ образомъ—для проведенія воды въ *водопроводахъ*, а затѣмъ и для проведенія *газовъ* при не особенно большихъ давленіяхъ. Прежде чугунныя трубы были въ большомъ ходу и для паропроводовъ, но это было допустимо лишь при незначительномъ, сравнительно, давленіи пара. Въ настоящее время, для высокихъ давленій пара, **чугунныя трубы совершенно не употребляются и даже запрещаются закономъ** (см. далѣе, въ главѣ о паропроводахъ).

Разсмотримъ сперва чугунныя трубы, употребляемыя для *водопроводовъ*. Такія трубы соединяются обыкновенно при помощи раструбовъ, и лишь въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, гдѣ того требуютъ обстоятельства (см. стр. 97), ставятся трубы съ флянцами.

Ввиду того, что водопроводное дѣло все развивается и каждый, даже небольшой городокъ (въ особенности въ Западной Европѣ, а тѣмъ болѣе въ Америкѣ, а въ послѣдніе годы даже и у насъ въ Россіи) старается завести у себя водопроводъ, потребность въ водопроводныхъ трубахъ весьма велика и изготовленіе ихъ является важною отраслію техники. Поэтому здѣсь, какъ и при всякомъ другомъ массовомъ производствѣ большого количества однообразныхъ, сходныхъ вещей, является чрезвычайно удобнымъ установить для этихъ вещей *однообразные размѣры*, благодаря чему, конечно, очень облегчаются и упрощаются: заказъ новыхъ и ремонтныхъ частей, расширеніе существующихъ сѣтей трубъ и пр., ибо всѣ трубы одного номера (съ однимъ и тѣмъ же внутреннимъ діаметромъ) будутъ одинаковы во всѣхъ своихъ размѣрахъ, съ какого бы завода онѣ ни были получены и будутъ непремѣнно подходить другъ къ другу, являясь рыночнымъ товаромъ, чего нѣтъ тамъ, гдѣ однообразные размѣры или такъ называемыя „*Нормы*“ не установлены.

Такъ какъ важность такого „*унормаливанія*“ (перевожу этимъ нѣсколько тяжеловѣснымъ словомъ, за отсутствіемъ вовсе какого нибудь подходящаго, Англійское слово „Standartisation“) для различныхъ произведеній техники давно уже сознана, то въ разныхъ странахъ давно уже появились и Нормы для чугунныхъ водопроводныхъ трубъ, обязательныя иногда лишь для даннаго города (напр. Американскія Нормы, приведенныя на табл. 109, 110, 111), или же даже и для цѣлой страны. Такія Нормы установлены давно уже въ Германіи (табл. 61 и 62) и, благодаря стараніямъ многихъ выдающихся дѣятелей русской водопроводной техники, удалось установить такія нормы и для Россіи. Плодотворная дѣятельность Русскихъ Водопроводныхъ Съѣздовъ привела къ тому, что въ 1893 году были установлены первыя Нормы для Русскихъ водопроводныхъ трубъ и были Съѣздомъ „рекомендованы“ для всеобщаго употребленія въ Рос-

сіи. Эти Нормы были помѣщены въ *третьемъ* изданіи нашего Атласа на табл. 23 и 24. Но эти первыя Нормы оказались довольно неудачными, отчасти по своей неуклюжести и массивности, отчасти по другимъ причинамъ. Это и понятно, такъ какъ составители ихъ слишкомъ отступили отъ тѣхъ образцовъ, которые давно уже выработаны и одобрены практикой и Германіи и Америки. Такъ какъ первыя Русскія Нормы не завоевали себѣ симпатій ни заводчиковъ, ни заказчиковъ, то послѣдующіе Съѣзды занялись переработкой этихъ Нормъ, составляя ихъ уже болѣе въ духѣ заграничныхъ образцовъ (преимущественно Америки, что̀ можно видѣть изъ сравненія таблицъ 72, 74 и 75 съ табл. 109, 110, 111 и др.) Эти новыя Нормы, изданныя въ свѣтъ въ 1903 году, приведены на табл. 72, 74 и 75 Атласа. Слѣдуетъ замѣтить, что хотя Нормы (и Германскія и Русскія и другія) составлены преимущественно для водопроводныхъ цѣлей, однако, ради тѣхъ же удобствъ, которыя указаны раньше, съ такими же размѣрами раструбовъ и флянцевъ (хотя иногда съ меньшей толщиной стѣнки самой трубы) рекомендуется дѣлать и чугунныя трубы для другихъ цѣлей—для газопроводовъ свѣтильнаго газа и имъ подобныхъ, для трубъ воздушнаго дутья, вентиляторныхъ, канализаціонныхъ и пр.

Послѣ этого предварительнаго замѣчанія разсмотримъ теперь болѣе подробно чугунныя трубы, преимущественно *съ точки зрѣнія устройства различныхъ* **соединеній ихъ.** Начнемъ съ раструбныхъ соединеній.

§ 44. Чугунныя трубы съ раструбными соединеніями.

На табл. 62 приведены размѣры *Нѣмецкихъ* нормальныхъ раструбныхъ соединеній. Существенною особенностію этой конструкціи является то обстоятельство, что весь раструбъ внутри—строго цилиндрическій и никакой выточки для свинца не имѣетъ. Благодаря такой формѣ раструба, Нѣмецкія трубы, конечно, болѣе подвержены той опасности, что при сильномъ давленіи или плохой сборкѣ соединенія изъ раструба будетъ выперта вонъ и пеньковая забивка и свинецъ, ибо здѣсь вылѣзанію свинца сопротивляется **исключительно одно только треніе этого свинцоваго кольца о стѣнки цилиндрическаго же раструба и трубы.** Какъ бы ни было это треніе усилено благодаря расчеканкѣ свинца, усиливающей нажатіе его на стѣнки, все таки оно можетъ и ослабнуть со временемъ. Съ этой точки зрѣнія Американскія и подражающія имъ Русскія трубы гораздо надежнѣе, ибо вездѣ у нихъ, какъ видно изъ Атласа, имѣется расточка *конической* формы, такъ что послѣ охлажденія свинцовое кольцо принимаетъ видъ усѣченнаго конуса и никакими судьбами не можетъ быть выперто изъ раструба; надо разорвать этотъ послѣдній. Но за то, благодаря конической формѣ этихъ выточекъ раструбовъ и свинцовыхъ колецъ, раструбы Американскихъ и Русскихъ трубъ приходится дѣлать толще, чѣмъ у Нѣмецкихъ и причина этого понятна. Въ Нѣмецкомъ раструбѣ давленіе жидкости выпираетъ свинцовое цилиндрическое кольцо, но отъ этого никакихъ *радіальныхъ* силъ на раструбъ не передается. Въ раструбахъ же съ конической выточкой свинцовое кольцо, выпираемое давленіемъ жидкости, давитъ въ свою очередь на стѣнки раструба по направленіямъ, перпендикулярнымъ къ образующимъ конической поверхности, и понятно, что въ зависимости отъ уклона конуса на раструбъ передаются болѣе или менѣе значительныя разрывающія силы, распредѣленныя равномѣрно по всей конической поверхности прикосновенія свинца и раструба. Поэтому раструбы и выходятъ здѣсь толще, а труба—тяжелѣ и дороже Нѣмецкой. Кромѣ того, и во время расчеканки свинцоваго кольца удары, наносимые инструментомъ, передаваясь на коническую поверхность, точно также будутъ вызывать тамъ огромныя радіальныя силы и это опять заставляетъ увеличивать толщину раструба, особенно у самаго конца его.

Буртика на задкѣ трубъ у Нѣмцевъ тоже не имѣется *, а это нѣсколько об-

* хотя на основаніи опытовъ Фидлера именно здѣсь его бы и надо имѣть!

легчаетъ отливку трубъ. Русскіе заводчики сильно воевали одно время противъ буртиковъ, но, не смотря на это, и въ новыхъ Русскихъ Нормахъ буртикъ остался.

Слѣдуетъ замѣтить, что на табл. 62 Атласа, въ таблицѣ размѣровъ, надъ девятымъ и десятымъ столбцами ошибочно написано „*буртикъ*“, а слѣдуетъ читать „*раструбъ*“ (надъ размѣрами $x = 7 + 2s$ и D_3).

Для быстраго соображенія необходимаго при работѣ сборки трубопровода количества вспомогательныхъ матеріаловъ Нѣмцами составлена весьма полезная таблица для различныхъ діаметровъ. Ее можно найти въ сочиненіи Fr. König: „Anlage und Ausführung von Wasserleitungen und Wasserwerken“, 4 Auflage, 1907, и она можетъ быть полезна и для Русскаго инженера, какъ первое приближеніе.

На табл. 72 и 74 представленъ чертежъ и таблица нормальныхъ размѣровъ водопроводныхъ трубъ съ раструбными соединеніями, выработанныхъ Пятымъ *Русскимъ* Водопроводнымъ Съѣздомъ въ 1901 году. Форма раструба приближается къ Американскому прототипу, раструбу сист. инженера Фаннинга (*Fanning*). Этотъ Сортаментъ—Метрическій, всѣ размѣры даны въ немъ въ миллиметрахъ, что̀ тоже должно считаться большимъ шагомъ впередъ. Всѣ подробности относительно этихъ трубъ, а также и трубъ съ флянцами, приведенныхъ на табл. 75, именно, исторію всего дѣла, техническія условія пріемки и выполненія трубъ, нормальныя фасонныя части и пр., можно найти въ отдѣльной брошюрѣ, изданной въ 1903 году, почему здѣсь мы никакихъ подробностей и не приводимъ. Брошюра называется

„Нормальный метрическій сортаментъ чугунныхъ водопроводныхъ трубъ и техническія условія ихъ изготовленія и пріемки, выработанные Комиссіей V Русскаго водопроводнаго съѣзда 1901 года“ *).

На табл. 68, фиг. 1 и въ таблицѣ при ней даны размѣры нормальныхъ раструбныхъ соединеній, распространенные въ Англіи [слѣдуетъ исправить опечатку въ этой табличкѣ размѣровъ и въ находящейся подъ ней табличкѣ размѣровъ раструбовъ съ конической приточкой; именно, надъ первымъ столбцомъ таблички, въ которомъ идутъ числа: 2, 3, 4, и т. д., слѣдуетъ въ пустой клѣточкѣ сдѣлать надпись—„внутренній діаметръ трубы“ (въ Англійскихъ дюймахъ), которая пропущена въ Атласѣ]. Какъ видно, Англичане, подобно Нѣмцамъ, тоже не боятся выпиранія набивки и раструбъ у нихъ—безъ конической расточки. Чѣмъ объяснить то, что Американцы и Русскіе испытываютъ затрудненія—обойтись тоже безъ нея—мнѣ неизвѣстно, но выяснить это въ технической литературѣ было бы очень интересно.

На табл. 109, 110 и 111 приведены примѣры раструбовъ, принятыхъ на нѣкоторыхъ крупныхъ водопроводахъ Америки.

Для учащихся *чрезвычайно полезно* выяснить себѣ наглядно на такомъ хорошемъ примѣрѣ, какъ раструбное соединеніе, вопросъ: „насколько бываютъ въ практикѣ велики колебанія въ размѣрахъ одной и той же детали, принятыхъ въ разныхъ странахъ?“ и для этого рекомендуется—начертить въ натуральную величину въ совмѣщенномъ видѣ раструбы для трубы (напр. для малой, 50mm діаметромъ и для большой, 500mm діам.) по даннымъ Атласа, хотя бы для четырехъ странъ—Германіи, Англіи, Америки и Россіи. Это хорошо сдѣлать чернилами различныхъ цвѣтовъ.

Кромѣ этихъ подробныхъ таблицъ въ Атласѣ имѣется еще и много примѣровъ отдѣльныхъ чертежей разныхъ раструбныхъ соединеній, о которыхъ ничего особеннаго говорить здѣсь не приходится. Обратимъ вниманіе только на нѣкоторые пункты, которые не лишнее немного пояснить.

---

* Приходится только пожалѣть, что эта брошюра издана *очень небрежно* вслѣдствіе плохой корректуры и наряду съ промахами невинными (число болтовъ выражено въ миллиметрахъ и пр.), содержитъ и болѣе серьезныя погрѣшности, затрудняющія пользованіе ею; напр. на детальныхъ чертежахъ соединеній **нельзя разобрать размѣровъ**, настолько плоха литографія и мелокъ масштабъ. Необходимо, чтобы въ будущихъ изданіяхъ такой серьезной и важной для техники книги никакихъ ошибокъ бы не было.

На фиг. 11 табл. 64 мы видимъ раструбъ, усиленный при помощи стального (или желѣзнаго) кольца, надѣтаго въ нагрѣтомъ состояніи съ относительной расточкой, а на фиг. 16 табл. 67 раструбъ усиленъ при помощи обмотки проволочнымъ канатикомъ. Но, какъ видно, не смотря на такую обмотку, конструкторы не рѣшились значительно убавить толщину раструба противъ обычной, да и трудно расчитывать на надежную работу такихъ усиленій, такъ что такая конструкція не имѣетъ большого значенія. Впрочемъ, есть попытки усиливать такими, надѣтыми въ нагрѣтомъ состояніи съ относительной расточкой, кольцами не только одни раструбы, но *даже и цѣлыя трубы*, по всей ихъ длинѣ. Такова Французская конструкція трубъ сист. *Роже*, показанная на фиг. 7 табл. 73. Черезъ извѣстные промежутки труба стягивается желѣзными кольцами. Теоретически система эта хороша и позволяетъ употребить чугунныя трубы для значительныхъ давленій, или уменьшить вѣсъ трубопровода при томъ же давленіи, но для этого необходима *увѣренность* въ томъ, что всѣ трубы будутъ изготовлены весьма тщательно. А изготовлять соединенія съ относительной расточкой очень не легко, и потому, особенно если за дѣло возьмется плохой заводъ,—правильной и однообразной работы не получится; однѣ кольца (бандажи) будутъ насажены слишкомъ туго и могутъ сами лопнуть, другіе же—слишкомъ слабо и подъ ними труба лопнетъ. Рѣшить же въ мастерской эту статически неопредѣленную задачу—заставить одновременно участвовать въ воспринятіи разрывающей силы и кольца и самую чугунную стѣнку, **въ той именно мѣрѣ подѣливъ между ними полную разрывающую силу, какъ этого желаетъ конструкторъ** (къ примѣру, чтобы треть всей разрывающей силы передалась бы на кольца, а двѣ трети—на чугунъ), что̀ можетъ быть достигнуто лишь чрезвычайно точнымъ выполненіемъ вычисленной конструкторомъ относительной расточки — почти невозможно для посредственнаго завода. Поэтому конструкцію эту я не рекомендую къ подражанію.

Подобнымъ же образомъ усилена и труба, изображенная на фиг. 16, табл. 67; у нея обмотанъ стальною проволокой не только раструбъ, о чемъ сейчасъ было сказано, но и самая труба усилена тоже при помощи обмотки стальной проволокою, причемъ обмотка эта идетъ не непрерывно по всей длинѣ трубы, а образуетъ отдѣльныя близкія другъ къ другу секціи, такъ что получаются проволочныя кольца, подобныя бандажамъ трубъ Рожѐ.

При небольшихъ давленіяхъ и отсутствіи расчеканиваемой свинцовой заливки, какъ напр. въ трубахъ, укладываемыхъ подъ желѣзнодорожными насыпями для проведенія дождевыхъ водъ, гдѣ раструбъ заполняется цементомъ, толщина раструба можетъ быть гораздо меньше противъ обычно принятой въ разсмотрѣнныхъ до сихъ поръ трубахъ. Примѣръ такой трубы съ тонкимъ раструбомъ приведенъ на табл. 67, фиг. 15; эти трубы выполняются съ длиною или 6 или 12 футъ.

Для полученія бо́льшей гарантіи въ герметичности трубы, иногда при значительныхъ давленіяхъ дѣлаютъ не одно, а *два* свинцовыхъ коническихъ кольца, расположенныхъ одно за другимъ, какъ показываютъ примѣры на фиг. 10 табл. 67, и на фиг. 4 и 5 табл. 114. Относительно этихъ двухъ послѣднихъ фигуръ необходимо здѣсь замѣтить слѣдующее.

На фиг. 4 изображено соединеніе трубъ города New-ark, N. J. Здѣсь желали для противопожарнаго водопровода употребить въ дѣло прежнія модели трубъ и поэтому тонкій для новой цѣли раструбъ пришлось усилить при помощи видимаго на чертежѣ кольца, надѣтаго съ относительной расточкой. Раструбъ забивается обычной пеньковой набивкой, заливается свинцомъ при помощи спеціальныхъ аппаратовъ и затѣмъ свинецъ сильно расчеканивается.

На фиг. 5 изображено соединеніе трубъ въ мѣстечкѣ Coney Island, увеселительномъ уголкѣ Нью-Іорка; здѣсь для тушенія пожаровъ пользуются морской водой и вслѣдствіе ея разъѣдающаго дѣйствія пришлось выполнять трубы особенно солидными; благодаря такой значительной толщинѣ трубъ здѣсь явилось возможнымъ сдѣлать выточки для задержанія свинца не только въ раструбѣ, но также и въ самой трубѣ.

Моск. Высш. Техн. Училище
БИБЛІОТЕКА
на чуг.-техническ. кругъ.

Иногда герметичность раструбнаго соединенія достигается не пеньковой забивкой, залитой свинцомъ или ржавой замазкой, а другими способами. Въ послѣднее время для этой цѣли начали употреблять *резину*. Одинъ примѣръ этого приведенъ на фиг. 18 табл. 67, гдѣ показано соединеніе всасывающихъ трубъ водоотливной системы парохода. Резина даетъ такому соединенію бо́льшую подвижность, нежели забивка раструба по обычному способу. На табл. 66, наряду съ обычными раструбными соединеніями, видны также и соединенія на резиновыхъ $^1/_2$″-хъ кольцахъ, которыя позволяютъ придать раструбу толщину гораздо меньшую противъ той, которая необходима при расчеканенномъ свинцовомъ кольцѣ, что̀ ясно видно изъ сравненія фигуръ 1 и 4. Относительно всѣхъ трубъ, помѣщенныхъ на этой таблицѣ, слѣдуетъ еще сказать, что всѣ трубы пробуются давленіемъ въ 15 атмосферъ, и это для канализаціи составляетъ весьма высокую цифру.

Для наилучшаго обезпеченія герметичности иногда соединяютъ заполненіе раструба резиновымъ кольцомъ съ свинцовой заливкой. Соединеніе такого рода было патентовано въ Англіи въ 1904 году J. Libert'омъ и состоитъ въ слѣдующемъ. Въ раструбѣ и въ задкѣ трубы имѣются выточки, форма которыхъ видна на чер. 101. Въ глубину раструба вводится кольцо изъ резины круглаго сѣченія, которое послѣ вдвиганія задка въ раструбъ принимаетъ форму, видимую на чер. 101 вверху; сверхъ этого расплющеннаго кольца производится заливка свинцомъ или другимъ мягкимъ металломъ (бабитомъ и т. п.).

Въ послѣднее время въ Америкѣ получаетъ для газопроводныхъ трубъ значительное распространеніе забивка раструба *цементомъ*. Такая забивка значительно дешевле свинцоваго заполненія, какъ видно изъ слѣдующихъ данныхъ, приводимыхъ инж. Jacob D. von Maur въ его докладѣ (Engineering News, 1905, Dec. 14):

На длинѣ 1 Англійской мили сберегается при употребленіи цемента вмѣсто свинца около

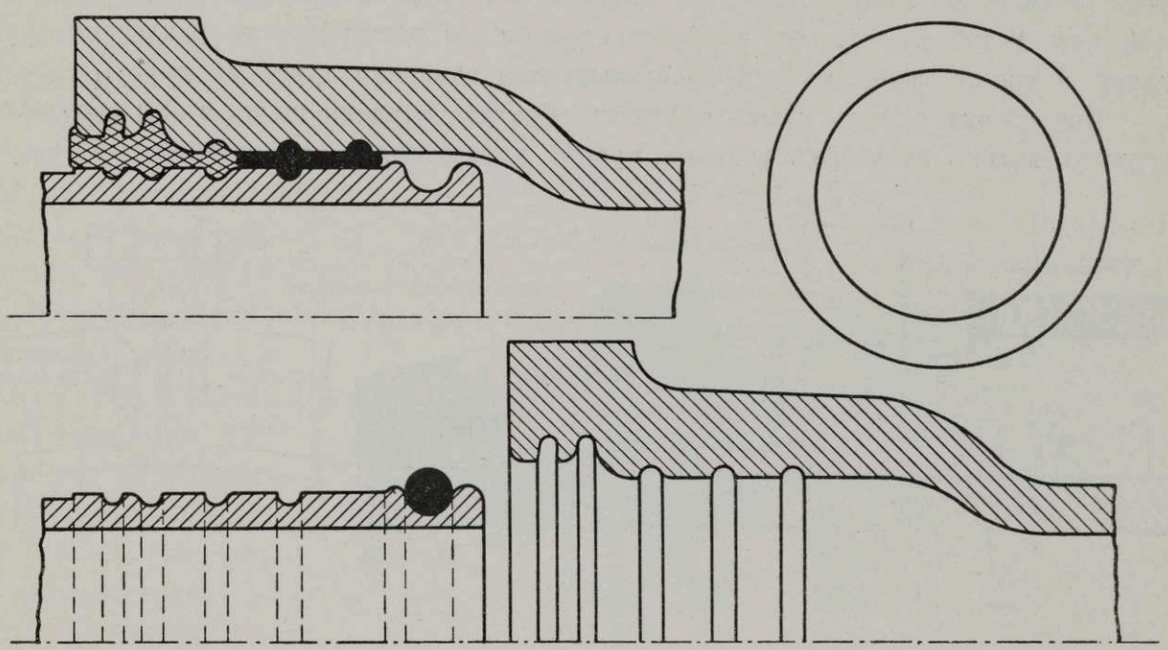
діам. трубы въ Англ. дюйм.	при тяжеломъ свинцѣ	при легкомъ свинцѣ
4	170	115
6	220	130
8	320	165
10	400	245
12	490	340
16	660	555
20	835	823
24	1250	1138
30	1630 долларовъ	1485 долларовъ

Для того чтобы избѣжать течи, упомянутый авторъ настоятельно совѣтуетъ укладывать газовыя трубы на солидномъ основаніи, напр. класть каждую трубу на доску, перпендикулярную къ ея оси и зарытую въ землю лежа.

Для того, чтобы сообщить трубопроводу съ цементными заполненіями извѣстную подвижность, черезъ опредѣленное число раструбовъ ставятъ раструбы съ свинцовой заливкой.

Третій и послѣдній изъ употребительныхъ способовъ приданія герметичности раструбнымъ соединеніямъ состоитъ въ устройствѣ *конической приточки*; такой раструбъ показанъ на фиг. 2 табл. 68 и здѣсь же приведены нормальные размѣры его по Ан-

глійскимъ даннымъ. Такое устройство, конечно, дороже, нежели обыкновенное и потому сравнительно мало распространено. Достоинство конической приточки состоитъ во первыхъ въ томъ, что при ней во время расчеканки свинецъ получаетъ въ чугунныхъ возвышеніяхъ, образующихъ конусà приточки, гораздо лучшую опору, нежели въ плетенкѣ или пенькѣ и пр. обычнаго раструба, и поэтому можетъ быть надежнѣе расчеканенъ, а во вторыхъ въ томъ, что, если вмѣсто свинца употреблять для заполненія раструба ржавую замазку или цементъ, то такія соединенія гораздо легче и быстрѣе могутъ быть выполнены, нежели обычные раструбы съ забивкой пенькой и заливкой свинцомъ. Передъ сборкой соединенія коническія поверхности задка и раструба покрываются слоемъ сурика, или свѣжимъ жидкимъ Портландскимъ цементомъ. По вставкѣ трубы въ раструбъ, она догоняется до мѣста деревяннымъ молоткомъ и затѣмъ раструбъ заливается свинцомъ, цементомъ или забивается ржавою замазкой. Неудобство соединеній раструбомъ съ конической приточкой состоитъ въ томъ, что такое соединеніе совершенно жестко и не позволяетъ осямъ трубъ ни малѣйшихъ перемѣщеній, исключая лишь вырываніе изъ раструба; поэтому при осадкѣ грунта и т. п. трубы легко могутъ быть изломаны. Чтобы хотя немного помочь бѣдѣ, въ послѣднее время стали дѣлать рабочую длину конусовъ (K на фиг. 2 табл. 68) очень малой, всего 15mm, и уклонъ конуса берутъ возможно меньше.



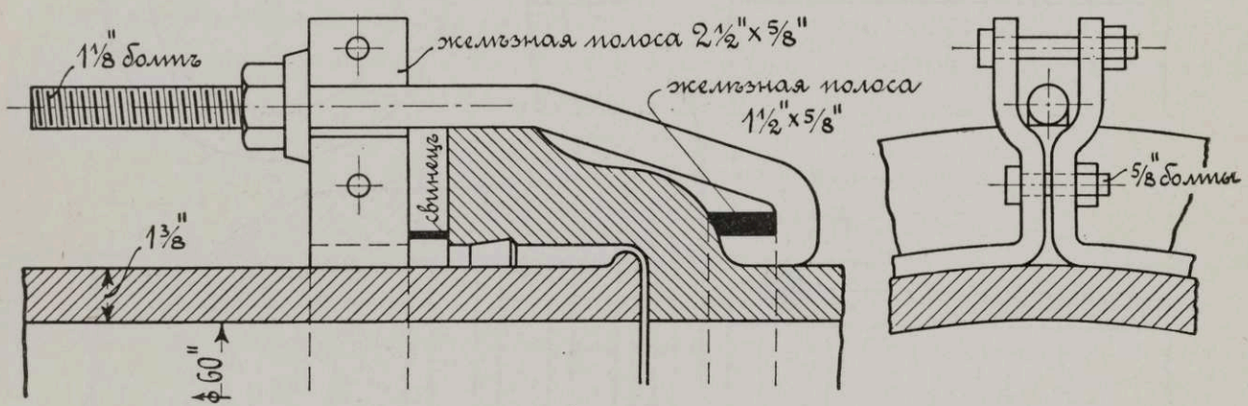
Чер. 101.

Недавно сталъ входить въ употребленіе новый матеріалъ для заполненія раструбовъ газо- и водопроводныхъ трубъ, именно такъ называемая *„свинцовая шерсть“*. Это полоски свинца, нарѣзанныя наподобіе грубой шерстяной пряжи и соединенныя въ пряди, слегка закрученныя. Этими прядями и забивается наружная часть раструба, вмѣсто прежней заливки свинцомъ. Въ глубину же кладется обычная плетенка. Пряди свинцовой шерсти вводятъ слоями и каждый слой чеканятъ; инструментъ для чеканки имѣетъ клиновидное остріе, такъ что, послѣ чеканки, кольца или пряди получаютъ V-образныя сѣченія и располагаются подобно тому, какъ согнутыя полоски кожи въ извѣстной набивкѣ для сальниковъ гидравлическихъ прессовъ, насосовъ и т. п. Забивка свинцовою шерстію даетъ бóльшую герметичность и бóльшую подвижность, ибо „шерсть“ не такъ сминается, какъ простое свинцовое литое кольцо, которое, если происходило сильное смѣщеніе трубъ одной относительно другой (напр. при осадкѣ грунта), обыкновенно разстраивается и начинаетъ пропускать.

О новомъ матеріалѣ—*„ледитъ“*—см. далѣе: „Подробности о чугунныхъ водопроводныхъ трубахъ“.

До сихъ поръ мы все говорили о соединеніяхъ трубъ нормальнаго, такъ сказать вида, имѣющихъ на одномъ концѣ раструбъ, а на другомъ—задокъ, входящій въ раструбъ слѣдующей трубы и т. д. Но при ремонтѣ лопнувшихъ трубъ и въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при невозможности вытаскивать и вставлять трубы вдоль ихъ оси, приходится прибѣгать къ помощи особой „фасонной“ части, представляющей изъ себя двойную муфту, т. е. короткую трубу съ двумя раструбами по концамъ, куда вставляются концы двухъ соединяемыхъ трубъ. Примѣръ такой муфты мы имѣемъ на табл. 66 на фиг. 5 и 17. Иногда длина тонкостѣнной части такой муфты обращается въ нуль и вся муфта состоитъ только изъ двухъ какъ бы склеенныхъ раструбовъ, какъ на фиг. 12 той же таблицы, или на фиг. 12 табл. 64. Подобною же муфтой пользуются и въ тѣхъ случаяхъ, если нужно о т к л о н и т ь ось трубы на замѣтный уголъ; тогда муфта состоитъ изъ двухъ раструбовъ, оси коихъ не составляютъ продолженія одна другой, а наклонены другъ къ другу подъ требуемымъ угломъ. Такія *косыя* муфты видны на табл. 64, фиг. 13 (а для соединенія ж е л ѣ з н ы х ъ трубъ—на табл. 81, фиг. 13—15); на фиг. 11 табл. 66 изогнута по дугѣ круга и сама короткая муфта (также и на фиг. 2), а на фиг. 8 той же таблицы, наоборотъ, даже и оси раструбовъ не наклонены другъ къ другу, а просто трубы въ муфты засовываются наклонно другъ къ другу.

При сборкѣ такихъ муфтъ слѣдуетъ обратить вниманіе на то, чтобы расчеканка свинцовыхъ колецъ на обоихъ концахъ муфты производилась *непремѣнно* о д н о в р е-



Чер. 102.

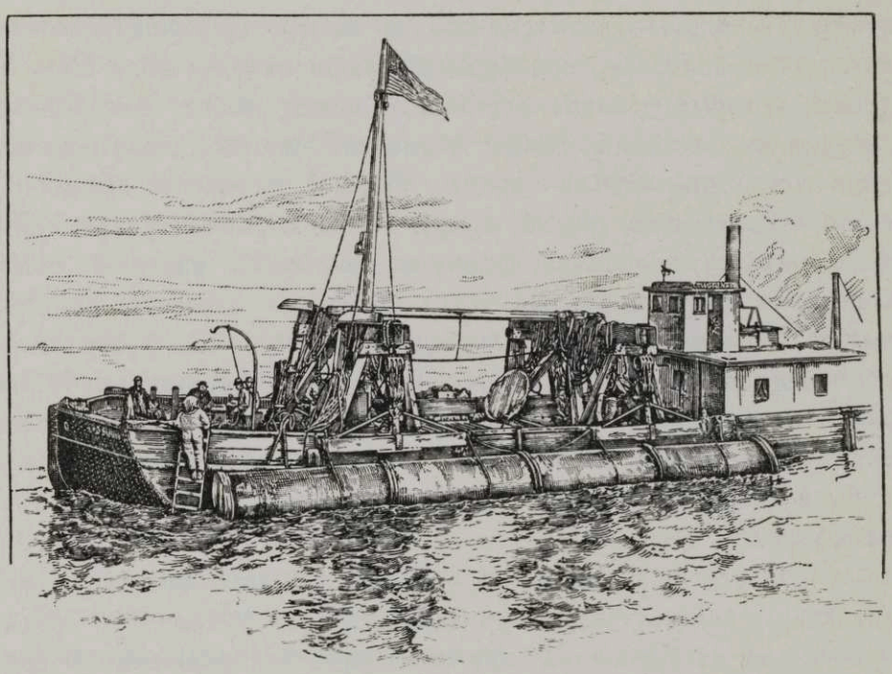
м е н н о, да и кромѣ того, чтобы при этомъ рабочіе били бы еще и *въ тактъ другъ съ другомъ*, а не въ разнобой, иначе при каждомъ ударѣ одинъ будетъ раздѣлывать то, что̀ въ предыдущій ударъ сдѣлалъ другой.

Здѣсь кстати будетъ замѣтить, что подобнымъ же образомъ образуются кривыя довольно большого радіуса и безъ посредства особыхъ муфтъ съ двумя раструбами; именно, просто задокъ слѣдующей трубы засовывается нѣсколько наклонно въ раструбъ предыдущей. Точныхъ данныхъ относительно предѣльныхъ величинъ радіусовъ закругленій, начиная съ которыхъ (для даннаго діаметра трубы) уже нельзя примѣнять такую косую укладку, а надо прибѣгать къ помощи фасонныхъ частей, т. е. трубъ съ искривленной осью, въ литературѣ очень мало. Для нѣкоторой оріентировки начинающихъ привожу тотъ примѣръ, который мнѣ встрѣтился.

На водопроводѣ Gloversville чугунныя трубы съ внутреннимъ діаметромъ въ 18 дюймовъ и съ обычною длиною каждой трубы въ 12 футъ укладывали безъ затрудненій по кривой съ радіусомъ въ 181 футъ, на протяженіи 600 футъ.

При прокладкѣ подводныхъ линій часто для обезпеченія герметичности приходится прибѣгать къ *втягиванію* трубы въ раструбъ при помощи б о л т о в ъ, такъ что соединеніе представляетъ изъ себя какъ бы смѣсь раструбнаго съ флянцевымъ. Примѣры такихъ соединеній при шаровыхъ сочлененіяхъ описаны далѣе, здѣсь же приведемъ одинъ примѣръ для обыкновенныхъ раструбовъ. На чер. 102 показано соединеніе, примѣненное на подводной линіи водопровода города Milwaukee, Wis., въ Америкѣ.

Длина этой подводной линіи, лежащей въ канавѣ, вычерпанной въ днѣ озера Мичиганъ—5000 футъ. Четыре трубы соединяются одна съ другой обыкновеннымъ образомъ и образуютъ секцію. Каждая же изъ такихъ секцій съ предыдущей и послѣдующей соединяется при помощи раструбовъ съ четыремя болтами, показанныхъ на чер. 102. Секціи собираются на берегу, причемъ задокъ на одной оконечности каждой секціи заранѣе, на берегу, заливается внутри временнаго раструба свинцомъ, такъ чтобы онъ былъ совершенно готовъ къ вставленію подъ водою въ раструбъ предыдущей секціи. Секціи, съ закрытыми концами, опускаются въ воду съ шаландъ, чер. 103, подобно тому, какъ это описано далѣе, при шаровыхъ сочлененіяхъ, и затѣмъ водолазъ подъ водою вставляетъ конецъ новой только что опущенной секціи въ раструбъ предыдущей, и затягиваетъ болты. Длина каждой секціи — 50 футъ. Въ день укладывали четыре секціи. Весьма интересныя подробности относительно продолженія этой линіи въ подземномъ и подводномъ тоннелѣ и тѣхъ страшныхъ трудностей, съ которыми пришлось встрѣтиться при этомъ инженерамъ, можно найти въ журналѣ „Engineering News“ за 1895 г., 19 Сентября. Постройка всего сооруженія стоила жизни 19 человѣкамъ. На фиг. 14—15 табл. 64 показано колѣно этой же линіи, находящееся внутри опускнаго заборнаго колодца. Имъ оканчивается линія на днѣ озера и въ него прямо входитъ вода.



Чер. 103.

Какъ уже сказано раньше, трубы съ инымъ поперечнымъ сѣченіемъ, нежели круглое, встрѣчаются довольно рѣдко; еще рѣже встрѣчаются соединенія такихъ трубъ раструбами. Два примѣра открытыхъ трубъ (желобовъ) приведены въ Атласѣ: на табл. 73, фиг. 4—5 и на табл. 118 фиг. 8—9. При конструированіи трубъ съ плоскими стѣнками необходимо быть очень осторожнымъ и помнить, что стѣнки должны быть расчитаны на изгибъ. Приводимые далѣе два примѣра поломокъ такихъ трубъ весьма поучительны.

§ 45. Чугунныя трубы съ флянцами.

Изъ всѣхъ родовъ трубъ чугунныя трубы обладаютъ наиболѣе простыми флянцами, ибо флянцы эти попросту отливаются вмѣстѣ съ трубою въ одно цѣлое, тогда какъ при желѣзныхъ и мѣдныхъ трубахъ отдѣльно изготовленные флянцы приходится еще скрѣплять съ трубой.

У обычныхъ, круглыхъ трубъ флянцы бываютъ по большей части тоже круглые, въ особенности же у трубъ значительнаго діаметра; у небольшихъ же трубъ, при числѣ болтовъ 2, 3 и 4, въ нѣкоторыхъ спеціальныхъ случаяхъ встрѣчаются и не круглые флянцы, а овальные, треугольные и квадратные.

Начнемъ съ **водопроводныхъ** трубъ.

Нормальныя Нѣмецкія трубы съ флянцами представлены на табл. 61 вмѣстѣ

со всѣми размѣрами ихъ. Русскія нормальныя трубы съ флянцами приведены на табл. 72 и 75.

Прокладки между флянцами такихъ водопроводныхъ трубъ чаще всего дѣлаются изъ промасленнаго картона; рѣже можно встрѣтить свинецъ, кожу, резину и нитки въ сурикѣ. Для того, чтобы нѣсколько усилить прокладку противъ разрыва и выпиранія ея наружу давленіемъ жидкости, на рабочихъ возвышеніяхъ флянцевъ, а если таковыхъ нѣтъ, то на поверхности флянца въ томъ мѣстѣ, гдѣ ляжетъ прокладка, часто вытачиваютъ по всей окружности двѣ или три неглубокихъ канавки. Какъ уже сказано, всѣ трубы съ указанными въ Нормахъ размѣрами флянцевъ примѣняютъ иногда и для другихъ жидкостей, газовъ и даже паровъ (для послѣднихъ—лишь при небольшихъ давленіяхъ и діаметрахъ трубъ); въ этихъ случаяхъ матеріалъ прокладки надо сообразовать съ физическими и химическими свойствами проводимыхъ жидкостей и паровъ, о чемъ было сказано и раньше.

На табл. 64, фиг. 1—2 показано соединеніе трубъ по способу *Brown*. Цѣль этого устройства—дать возможность быстро производить соединенія трубъ въ томъ случаѣ, когда напередъ, при проэктированіи ихъ, не могъ быть заранѣе точно опредѣленъ уголъ, который должны составлять между собою оси обѣихъ соединяемыхъ трубъ въ собранномъ состояніи. Какъ видно изъ чертежа, такая возможность получается благодаря тому, что возможно передъ сборкой произвести вращеніе одной половинки соединенія относительно другой, вокругъ оси, перпендикулярной къ плоскости соприкосновенія обоихъ стыкающихся флянцевъ шаровыхъ раздутій, сдѣланныхъ на соединяемыхъ короткихъ патрубкахъ. На этихъ флянцахъ отверстія для болтовъ высверливаются на заводѣ только у одного патрубка (на фиг. 1—2—у верхняго), а во второмъ флянцѣ отверстія высверливаются *уже на мѣстѣ* сборки трубъ, когда, въ зависимости отъ бывшихъ напередъ неизвѣстными мѣстныхъ условій, выяснится наконецъ, какой уголъ должны составлять между собою оси обѣихъ соединяемыхъ трубъ; тогда размѣчаютъ дыры во второмъ флянцѣ по высверленнымъ ранѣе дырамъ перваго и сверлятъ ихъ на мѣстѣ.

Уголъ α обыкновенно дѣлаютъ равнымъ или 45° и тогда трубы возможно устанавливать подъ углами, мѣняющимися отъ 90° до 180° градусовъ (такое устройство и показано на фиг. 1—2) или же берутъ его равнымъ 50 градусамъ.

Какъ уже было объяснено ранѣе, при большихъ давленіяхъ набивка или прокладка, лежащая просто между двумя плоскими флянцами двухъ соединяемыхъ трубъ, можетъ быть давленіемъ жидкости разорвана въ одномъ или нѣсколькихъ мѣстахъ, не смотря на треніе о флянцы, и затѣмъ *выдавлена* или *вышиблена* изъ пространства между флянцами. Для предупрежденія подобныхъ казусовъ при большихъ давленіяхъ набивку стараются *запрятать* въ какое нибудь углубленіе такъ, чтобы давленіе жидкости не доходило бы до нея вовсе, а если и доходитъ, то не могло бы разорвать ее, а наоборотъ, стремилось бы иногда даже усилить нажатіе ея къ окружающимъ стѣнкамъ, для бо́льшей герметичности.

Въ водопроводномъ дѣлѣ такія высокія давленія не встрѣчаются; они встрѣчаются при гидравлической передачѣ работы, гдѣ вода подъ давленіемъ работаетъ въ различныхъ водостолбовыхъ машинахъ, будучи доставляема съ центральной станціи, именно, въ подъемникахъ, прессахъ, клепалкахъ и т. п. Затѣмъ, такія высокія давленія встрѣчаются иногда и при передачѣ работы сжатымъ воздухомъ.

Подъ именемъ „высокаго“ давленія въ такихъ случаяхъ обыкновенно понимается давленіе примѣрно свыше 20 атмосферъ; но оно рѣдко бываетъ и больше 50, а крайнее—70 атмосферъ при гидравлической передачѣ работы; въ гидравлическихъ же прессахъ давленія доходятъ до 300 и даже до 500 атмосферъ (при *чугунныхъ* прессахъ и трубахъ; при бо́льшихъ же давленіяхъ приходится прибѣгать къ стальнымъ прессамъ и бронзовымъ фасоннымъ частямъ и къ стальнымъ и бронзовымъ трубамъ).

Наиболѣе простымъ по конструкціи и выполненію средствомъ для сказаннаго

задержанія набивки является устройство на поверхности стыка одного изъ флянцевъ—небольшого углубленія или выточки круглой формы, а на другомъ—выступа или возвышенія, имѣющаго діаметръ чуть чуть поменьше, нежели у перваго выступа, а высоту—почти или совсѣмъ такую же; при сборкѣ трубъ выступъ одного флянца входитъ въ углубленіе другого, а между торцами ихъ кладется набивка, такая же, какъ и при простыхъ флянцахъ. Примѣры такого простѣйшаго устройства видны на фиг. 4—5 табл. 68; на фиг. 8—10 табл. 69 и на фиг. 2—5, 6—7 табл. 70; матеріаломъ для набивки между флянцами во всѣхъ этихъ случаяхъ служитъ резиновое кольцо, которое имѣетъ въ свободномъ состояніи круглое поперечное сѣченіе и при затягиваніи болтовъ расплющивается, принимая форму, выполняющую поперечное сѣченіе кольцевой канавки, образующейся между двумя стянутыми флянцами. Давленіе жидкости на остающуюся незакрытой отъ нея внутреннюю поверхность набивки только усиливаетъ герметичность, втискивая набивку еще сильнѣе между флянцами.

Діаметръ резиноваго кольца долженъ быть выбранъ надлежащимъ образомъ. Относительно этого даетъ нѣкоторыя указанія Бахъ. При опытахъ надъ флянцами онъ сперва слѣдовалъ правилу: брать площадь поперечнаго сѣченія резиноваго кольца *равной* площади поперечнаго сѣченія выточки во флянцѣ (выточка была только въ одномъ флянцѣ, по типу табл. 70, фиг. 17), но послѣ опытовъ пришелъ къ тому, что лучше брать площадь резиноваго кольца нѣсколько б о л ѣ е: именно, вмѣсто резиновыхъ шнуровъ съ діаметрами въ 6 и 8 mm соотвѣтственно, онъ бралъ потомъ шнуры въ 8 и 10 mm діаметромъ, т. е. съ площадію примѣрно въ 1,5 раза большею; при этомъ резина немного вылѣзала и наружу и вовнутрь.

Самая постановка на мѣсто резиноваго шнура должна производиться такимъ образомъ, что его необходимо передъ закладываніемъ въ выточку *склеить концами въ цѣльное кольцо*. Для этого концы шнура срѣзаютъ наискось на длинѣ около дюйма острыми ножницами и затѣмъ, наложивши срѣзанныя части такъ, что образуется на видъ цѣльное кольцо, безъ утолщенія, склеиваютъ какимъ нибудь резиновымъ растворомъ; или же срѣзанные концы попросту нагрѣваютъ въ горячей водѣ (повидимому, для этого удобнѣе гуттаперча) и когда они достаточно размякнутъ, ихъ слѣпливаютъ пальцами. Послѣ склейки кольцо кладутъ въ выточку флянца.

При сильномъ затягиваніи болтовъ является иногда то неудобство, что набивка выдавливается отъ него, еще при сборкѣ, *внутрь* трубы. Какъ для устраненія этого неудобства, такъ и для обезпеченія еще бо́льшей герметичности, защищаютъ иногда набивку отъ дѣйствія на нее давленія жидкости также и съ внутренней стороны, устраивая выточку въ видѣ *желобка*, имѣющаго *двѣ* стѣнки, и придавая выступу другого флянца соотвѣтствующую ширину. Такія конструкціи видны на фиг. 10—11, табл. 70; на фиг. 3, табл. 71; на фиг. 1—2, табл. 73 и на табл. 106.

Клиновидная форма сѣченія выточки, гдѣ лежитъ резиновый шнуръ (фиг. 10—11, табл. 70; фиг. 18 той же табл.) способствуетъ усиленію герметичности, благодаря втискиванію матеріала прокладки въ болѣе узкую часть выточки.

Всѣ описанныя сейчасъ соединенія съ выточками прекрасно обезпечиваютъ герметичность, но обладаютъ тѣмъ неудобствомъ, что при нихъ затрудняется сборка и разборка трубъ, ибо трубы нельзя просто вытаскивать въ бокъ, какъ при плоскихъ, гладкихъ флянцахъ. Чтобы помочь этому неудобству, дѣлаютъ иногда углубленіе для набивки только въ одномъ флянцѣ, не дѣлая выступа на другомъ (табл. 70, фиг. 17; табл. 73, фиг. 11); иногда же окружаютъ то мѣсто, гдѣ лежитъ набивка, отдѣльнымъ кольцомъ (см. у Баха въ „Деталяхъ машинъ“; это малоупотребительная конструкція да и рабочіе легко могутъ потерять или даже по непониманію, просто выбросить вонъ наружное колечко).

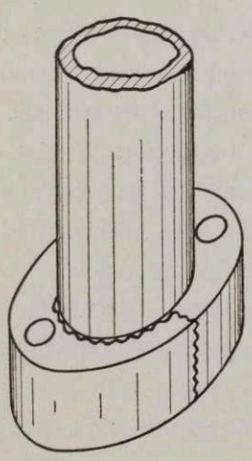
Прекрасная Американская конструкція флянцеваго соединенія для очень высокихъ давленій (даже и для газовъ), при которой и разборка не затруднена и герметичность обезпечена и прокладка защищена отъ вреднаго вліянія жидкости въ трубѣ, по-

казана на фиг. 13 табл. 65 и рекомендуется для всѣхъ серьезныхъ случаевъ практики. Это соединеніе по сист. капитана Рапіева, пользующееся въ Америкѣ значительнымъ распространеніемъ. Резиновое кольцо, которое закладывается между флянцами, имѣетъ въ свободномъ состояніи круглое сѣченіе, діаметръ котораго выбирается такимъ образомъ, что послѣ затягиванія болтовъ резина отчасти заходитъ въ узкую часть выточекъ, а флянцы крѣпко прилегаютъ другъ къ другу, металлъ къ металлу. Резиновое кольцо не отливается цѣльнымъ, а сгибается изъ полосы, концы которой, срѣзанные наискось, покрываютъ другъ друга. По отзывамъ Американцевъ соединеніе работаетъ прекрасно.

Относительно формы флянцевъ можно еще сказать, что такъ какъ для гидравлической передачи работы служатъ всегда трубы небольшого діаметра, то у нихъ часто дѣлаютъ флянцы не круглые, а овальные, имѣющіе всего **лишь только два болта**. Понятно, что болты эти тогда выходятъ очень толстыми, какъ это ясно видно и изъ примѣровъ Атласа. Удобства такого устройства слѣдующія.

Вопервыхъ, при двухъ болтахъ гораздо легче затянуть оба болта одинаково, нежели при многихъ болтахъ; а если оба болта затянуты одинаково, то и давленіе на набивку со стороны флянцевъ тоже будетъ распредѣлено равномѣрно по всей окружности, а это очень важно; правда, для того, чтобы, хотя и при одинаковой затяжкѣ двухъ болтовъ, давленіе было бы *дѣйствительно* практически равномѣрно распредѣлено по всей окружности флянцевъ, необходимо дѣлать флянцы весьма толстыми, такъ чтобы они прогибались какъ можно меньше; но такъ какъ, съ другой стороны, при двухъ только болтахъ, сила по каждому болту получается очень большая, то уже по этому одному флянцы, все равно, должны быть, изъ соображеній прочности, сдѣланы довольно толстыми, и значительная толщина ихъ не является поэтому неудобной.

Второе удобство овальныхъ флянцевъ съ двумя болтами состоитъ въ томъ, что, если трубопроводъ идетъ въ каменномъ дорогомъ каналѣ, напр. вдоль набережной (при передачѣ къ гидравлическимъ кранамъ), то возможно выемку въ каменной кладкѣ выполнить съ шириною лишь немного большею, чѣмъ d, наружный діаметръ трубы, тогда какъ обыкновенные круглые флянцы потребовали бы (для доступности) ширины выемки около трехъ $3d$, такъ что каменную кладку пришлось бы выполнить болѣе широкой и она стоила бы много дороже.



Чер. 104.

Наконецъ, при двухъ болтахъ и овальномъ флянцѣ соединеніе гораздо доступнѣе, нежели при кругломъ флянцѣ.

Для того, чтобы неопытные рабочіе не затягивали бы болтовъ черезчуръ сильно, что̀ грозитъ прежде всего изломомъ флянца, часто дѣлаютъ предохранительныя упорки или приливы на узкихъ частяхъ флянцевъ, придавая имъ такую высоту, чтобы при черезмѣрномъ затягиваніи болтовъ эти возвышенія упирались бы другъ въ друга и препятствовали бы дальнѣйшему прогибанію флянцевъ. Такіе приливы видны на фиг. 17, табл. 67; на фиг. 8—9, табл. 69 и на фиг. 8—9 и 10—11, табл. 70.

Слѣдуетъ обратить вниманіе на то вліяніе, которое оказываетъ расположеніе флянцевъ не на самомъ концѣ трубы, а въ нѣкоторомъ отдаленіи отъ него, на прочность ихъ, о чемъ сказано на табл. 70, въ надписи къ фиг. 5—9. Никакая теорія не выясняла никогда и не давала даже намека на это явленіе, обнаруженное исключительно путемъ горькаго опыта. Это одинъ изъ прекрасныхъ примѣровъ того, насколько еще несовершенны наши знанія въ теоріи сопротивленія матеріаловъ.

Для упражненія рекомендуется повѣрить прочность одного или двухъ флянцевъ изъ приведенныхъ въ Атласѣ, помня, что изломъ обходитъ трубу (черт. 104) и потому, при расчетѣ, за ширину въ опасномъ сѣченіи надо брать меньшую ось овала, а плечо считать отъ оси болта до оси трубы. Такъ какъ неизвѣстно, всякій ли флянецъ впи-

санъ внутрь тѣла равной крѣпости при той же нагрузкѣ, то полезно повѣрить его еще хотя бы въ двухъ сѣченіяхъ между болтомъ и осію трубы.

Понятно, что какъ и вездѣ, надобно, для уменьшенія прогиба флянцевъ и напряженія въ нихъ, стараться ставить болты какъ можно ближе къ трубѣ.

Скажемъ теперь о нѣкоторыхъ болѣе спеціальныхъ соединеніяхъ литыхъ чугунныхъ и стальныхъ трубъ, имѣющихся въ Атласѣ.

§ 46. Различныя спеціальныя соединенія чугунныхъ трубъ.

На табл. 63, фиг. 12—15 изображены соединенія подводной линіи города Эри. Ввиду интереса, представляемаго работами, подобными тѣмъ, которыя производились при сборкѣ изображенныхъ здѣсь соединеній и малой извѣстности подобныхъ работъ въ Россіи, я считаю полезнымъ дать здѣсь подробное описаніе соединенія и порядка его сборки и укладки.

Чистую воду для питья нужно было взять изъ озера Эри, въ точкѣ, удаленной отъ берега на 3500 футъ, и къ этой точкѣ и была проложена подъ водою разсматриваемая труба.

При рѣшеніи вопроса—какую употребить трубу, желѣзную или чугунную, чугунной трубѣ дано было предпочтеніе на основаніи слѣдующихъ соображеній:

1). Чугунная труба долговѣчнѣе.

2). Чугунная труба тяжелѣе (на единицѣ длины), а это выгоднѣе въ томъ смыслѣ, что она не такъ легко будетъ стремиться всплывать въ случаѣ, если изъ нея будетъ выкачана вода (такіе непріятные случаи всплыванія наблюдались въ практикѣ).

3). Асфальтировка чугунной трубы обходится дешевле, нежели желѣзной.

4). Вслѣдствіе меньшей наклонности къ всплыванію, глубина канавы для чугунной трубы можетъ быть сдѣлана менѣе, нежели для желѣзной.

5). Вообще, полная стоимость чугуннаго трубопровода, съ асфальтировкой, канавой, засыпкой и устройствомъ соединеній, выходила менѣе, нежели для желѣзной трубы.

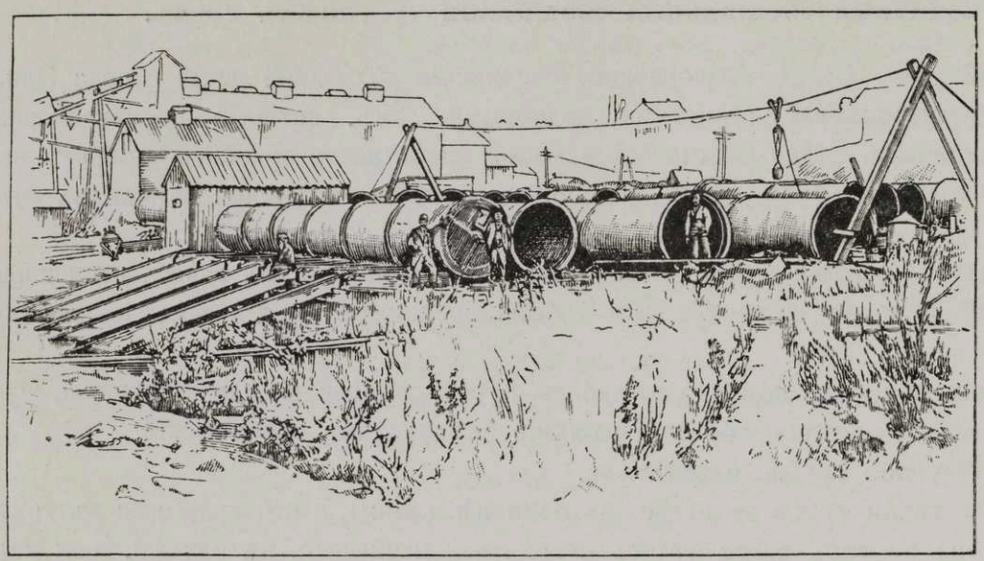
Для доставленія необходимаго количества воды пришлось положить трубы діаметромъ въ 5 футъ отъ насосной станціи до полуострова, а оттуда до мѣста забора воды—съ діаметромъ въ $5^1/_2$ футъ. Глубина канавы, вырытой въ днѣ озера, въ которой лежатъ трубы, измѣняется отъ 8 до 10 футъ, такъ что надъ вершиною трубъ находится слой засыпки толщиною отъ 4 до 5 футъ. Дно почти все скалистое.

Трубы соединяются раструбами. Длина каждой трубы — 12 футъ 5 дюймовъ. Трубы асфальтируются по способу Ангуса Смита и пробуются гидравлическимъ давленіемъ въ 200 Англ. фунтовъ на □ дюймъ.

Пять послѣдовательныхъ трубъ соединяются раструбами по типу *A*, показанному на фиг. 12 табл. 63; каждая же шестая труба имѣетъ точеный коническій задокъ, который входитъ (будучи уложенъ на мѣсто), впрочемъ, тоже въ раструбъ, фиг. 13 *(B)* табл. 63. Каждыя такія шесть послѣдовательныхъ трубъ образуютъ *секцію*. Такая секція собирается на бревнахъ, на берегу, на совершенно горизонтальномъ мѣстѣ, раструбы забиваются набивкой, заливаются свинцомъ и чеканятся обычнымъ образомъ. Конусъ, составляющій одну оконечность секціи, совершенно обточенный, вставится подъ водою въ раструбъ предыдущей, лежащей уже подъ водою секціи. Раструбъ же, на другомъ концѣ секціи, тоже еще на берегу приготовляется къ принятію впослѣдствіи конца новой секціи и потому заливается свинцомъ вокругъ оправки, совершенно соотвѣтствующей конусу и подготовляется вполнѣ къ тому, чтобы послѣ опусканія на дно принять въ это уже готовое свинцовое кольцо новый конецъ слѣдующей секціи. Заливка всѣхъ раструбовъ производится весьма удобно, такъ какъ надъ мѣстомъ сборки (чер. 105) секцій протянутъ проволочный тросъ, по которому бѣгаетъ роликъ, на которомъ виситъ ковшъ для

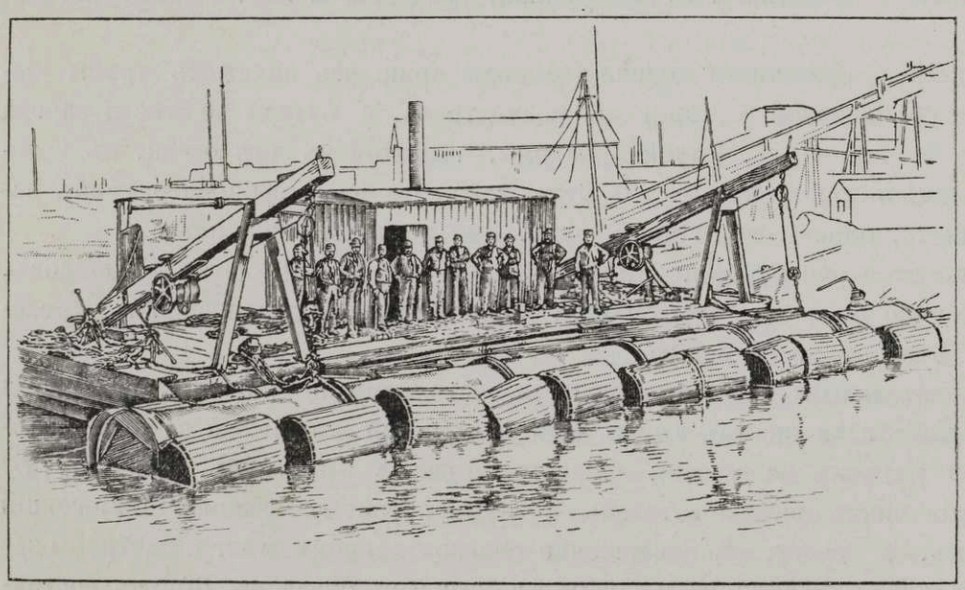
свинца, вмѣщающій около 600 Англ. фунт. свинца; на заливку же одного раструба требуется около 160 фунтовъ. У одного конца этой канатной дороги стоитъ печь для плавки свинца, изъ которой удобно наполнять ковшъ и затѣмъ катить его по канату къ нужному раструбу. Во время заливки свинецъ удерживается отъ растеканія въ стороны не обычной глиняной оболочкой, а толстымъ резиновымъ кольцомъ.

Изготовленныя такимъ образомъ секціи, цѣлый рядъ которыхъ виденъ на чер. 105, опускаются затѣмъ въ воду и соединяются водолазомъ уже подъ водою, такъ что подъ водою приходится коническія оконечности секцій вставлять въ раструбы уже уложенныхъ секцій. Эти соединенія крѣпятся особыми стержнями, какъ то видно на фиг. 14 табл. 63 и какъ это опишемъ сейчасъ подробно.



Чер. 105.

Когда секціи изготовлены, то ихъ закрываютъ по концамъ на время деревянными крышками и осторожно скатываютъ по наклонной плоскости, состоящей изъ ряда брусковъ и видимой на чер. 105, въ воду. Въ водѣ секція поддерживается въ плавающемъ состояніи при помощи двухъ рядовъ пустыхъ желѣзныхъ бочекъ, привязываемыхъ къ ней канатами, и при помощи полиспастовъ, спущенныхъ съ двухъ козелъ, стоящихъ на большой шаландѣ; все это видно на чер. 106. Послѣ этого шаланда буксируется къ тому мѣсту, гдѣ надо опустить секцію, крышка съ коническаго конца секціи снимается, она наполняется водою и тонетъ, по мѣрѣ отпусканія канатовъ или цѣпей полиспастовъ. Вѣсъ секціи при этомъ главнымъ образомъ уравновѣшивается бочками, такъ что секцію очень легко перемѣщать въ водѣ и прятянуть какъ разъ къ мѣсту, гдѣ она должна лечь и соединиться съ предыдущей.



Чер. 106.

Каждая секція имѣетъ въ длину около 72,8 фута и съ каждой стороны ея помѣщаются по 12 бочекъ, всего 24; бочки имѣютъ размѣры $3^1/_2 \times 5^1/_3$ фута и сдѣланы изъ желѣза въ $^1/_8$ дюйма толщины; оба дна вогнутыя; бочки одѣты деревянными план-

ками 2×4 дюйма, обмотанными проволокою. Эта одежда необходима потому, что бочки выныриваютъ наверхъ съ такой страшной силой, когда водолазъ перерѣзаетъ канаты подъ секціей и освобождаетъ ихъ, что безъ предохранительной обшивки онѣ бились бы другъ объ друга и портились бы, текли и пр.

Каждая секція вѣситъ около 31,5 тонны, но благодаря бочкамъ водолазъ легко двигаетъ ее подъ водою для сборки. Сборку онъ начинаетъ съ того, что съ предыдущей, лежащей уже подъ водою секціи онъ снимаетъ деревянную крышку, закрывающую конецъ ея и оставшуюся отъ пробы ея на герметичность. Затѣмъ онъ вставляетъ коническій конецъ вновь опущенной секціи въ только что раскрытый раструбъ подводной; это передвиженіе производится тѣмъ, что шаланду подтягиваютъ къ якорю. Затѣмъ при помощи двухъ стержней, видимыхъ на фиг. 14 табл. 63, которыхъ длина дѣлается 14 футъ, и которые проходятъ сквозь щели между двумя хомутами, надѣваемыми на соединяемыя секціи и видимыми на фиг. 14 и 15 той же табл., водолазъ, подтягивая гайки на концахъ этихъ стержней, плотно втискиваетъ коническій конецъ новой секціи въ раструбъ старой. Затѣмъ онъ освобождаетъ бочки, которыя выскакиваютъ на поверхность воды; секція окончательно ложится на дно канавы и тогда водолазъ производитъ расчеканку свинцоваго кольца.

По мѣрѣ того, какъ работа подвигается впередъ, производятся постоянныя пробы герметичности уложенной части линіи. Это дѣлается слѣдующимъ образомъ. Такъ какъ конецъ секціи, лежащій въ водѣ и ждущій своего конуса, все время закрытъ крышкой, то выкачиваютъ изъ собранной уже части линіи столько воды, чтобы въ выходящемъ на берегъ концѣ ея вода стояла на нѣсколько футъ ниже уровня озера; въ отверстіе лаза, имѣющагося у этого конца линіи, опускаютъ поплавокъ и затѣмъ слѣдятъ, остается ли онъ неподвижнымъ или всплываетъ вверхъ; въ этомъ послѣднемъ случаѣ, стало быть, линія течетъ. Течь отыскиваютъ и исправляютъ, что̀, конечно, должно быть сдѣлано ранѣе, нежели канава будетъ засыпана окончательно.

На табл. 65, фиг. 6 — 8 показано быстроразбирающееся соединеніе трубъ, понятное безъ описанія.

На фиг. 14 табл. 65 показано весьма гибкое соединеніе трубъ для проводки газа. Изобрѣтатель дѣлалъ съ нимъ опыты въ Американскомъ Обществѣ Газоваго Освѣщенія; вокругъ залы засѣданія была обведена 8-дюймовая газовая труба съ соединеніями его системы, наполненная газомъ. Трубу на длинѣ въ 20 футъ отклоняли на 12 дюймовъ, а второстепенныя трубы, соединенныя съ ней—на 20 и даже 30 градусовъ и онѣ оставались вполнѣ герметичными.

При сборкѣ сперва надѣваются на трубы оба чугунныхъ ошейника, которые сдвигаются за буртики трубъ. Затѣмъ на одну изъ трубъ надѣвается свинцовое кольцо, вставляется внутреннее колечко и трубы сближаются насколько нужно. Потомъ осаживаютъ оконечности свинцоваго кольца, которыя простираются за ребро примѣрно на одинъ дюймъ, ударами легкаго молотка, такъ чтобы свинецъ облегалъ трубы. Затѣмъ туго надвигаютъ на свинецъ кольца и расчеканиваютъ свинецъ позади колецъ въ трехъ-четырехъ мѣстахъ по окружности, чтобы предотвратить спаданіе колецъ.

На табл. 66 представленъ цѣлый рядъ трубъ канализаціи въ Бланкенберге; магистральныя трубы, по которымъ выкачивается жидкость изъ главнаго резервуара, имѣютъ внутрен. діаметръ въ 400mm и выполняются съ длинами: 3 метра и 4 метра. Длина линіи—около 7 верстъ. На кривыхъ длины трубъ берутся меньше. Трубы асфальтированы въ нѣсколько слоевъ. Отливаются онѣ вертикально и допускается отступленіе отъ нормальной толщины не болѣе какъ на 0,8mm. Соединенія почти всѣ—раструбныя. Герметичность ихъ достигается или обычнымъ способомъ, при помощи плетенки и свинца, или же посредствомъ резиновыхъ колецъ, имѣющихъ круглое сѣченіе съ діам. въ 13mm. Трубы магистрали пробуются давленіемъ въ 15 атмосферъ.

Вслѣдствіе значительнаго числа трубъ, потребныхъ для линіи, были, для удобства, установлены нѣкоторые нормальные или неизмѣнные размѣры, какъ для самихъ

трубъ, такъ и для фасонныхъ частей. На табл. 66 приведены данныя какъ для магистральныхъ трубъ (діам. 400mm), такъ и для трубъ меньшаго діаметра, составляющихъ городскую сѣть.

Къ тому, что сказано уже на табл. 66, здѣсь остается прибавить еще слѣдующее. Радіусъ кривыхъ, показанныхъ на фиг. 3, берется такой же, какъ и для кривой типа фиг. 2 на тотъ же діаметръ. Толщины тоже берутся такія же, какъ и для типа фиг. 2. Раструбъ и буртикъ тоже какъ и для фиг. 2. Флянцы берутся такіе же, какъ для концевой трубы, показанной на фиг. 9 и 10. Толщины конической трубы, фиг. 6, берутся слѣдующія: толщина при A — такая же, какъ для раструба съ малымъ діаметромъ Δ; толщина при B—такая же, какъ для раструба съ большимъ діаметромъ D. Въ табличкѣ, подъ фиг. 6, величина c, равная = 5mm, есть прибавокъ толщины при переходѣ конической части въ раструбъ, при C.

Вмѣсто таблички, находящейся подъ фиг. 7, которая даетъ тамъ величины D, Δ и l, и *которая* ***невѣрна***, нужно читать слѣдующее:

„Для величины $D = 85$, длина l берется $= 400$; для величинъ D отъ 150 до 400 mm, длина l берется равной $D + 250$ mm; для величинъ D отъ 500 до 800, длина l берется равной $D + 350$ mm; для величинъ D отъ 1000 до 1085, длина l берется равной $D + 450$ mm. Толщина раструба для этой фасонной части берется такая же, какъ для прямого раструба съ діаметромъ Δ. Толщина вертикальной части, несущей флянецъ, берется такая же, какъ для трубы діаметра D, съ раструбомъ, плюсъ 5 mm".

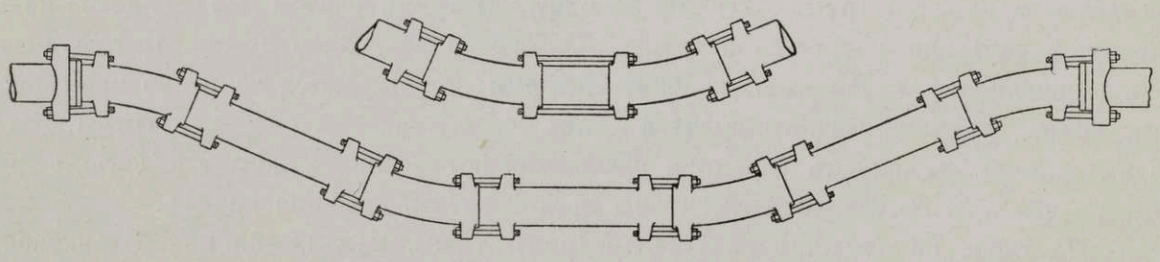
Размѣры раструба и буртика для частей фиг. 9 и 10 берутся такіе же, какъ и для прямыхъ трубъ того же діаметра.

Относительно фиг. 8 и 12 въ текстѣ журнала, откуда мы заимствуемъ описаніе, сказано, что это набивочныя кольца (резиновыя), но заштрихованы онѣ тамъ чугуномъ (?) Мы поняли такъ, что вѣрна штриховка, и что это короткія муфты. Что вѣрно — неизвѣстно! Болѣе подробныхъ указаній въ текстѣ нѣтъ, также какъ и объясненія буквъ d, d', l, l'.

На фиг. 13 представленъ нормальный флянецъ для діаметра трубы въ 400 mm, а на фиг. 14—для діаметра въ 250 mm.

На фиг. 15, 16 и 17 представлены соединенія для особыхъ, мѣстныхъ требованій.

Прокладки между флянцами состоятъ изъ свинцовыхъ бляшекъ, ставящихся на сурикѣ, или изъ резины.



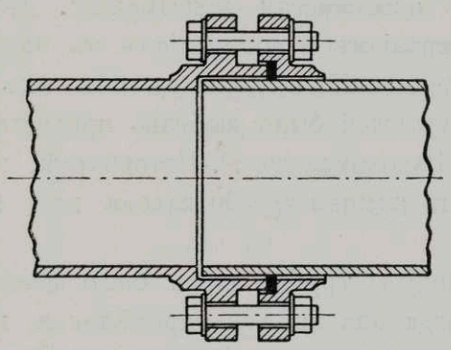
Чер. 107.

На фиг. 10 табл. 67 представлено, какъ уже упомянуто ранѣе, раструбное соединеніе трубъ противопожарнаго водопровода. Водопроводъ этотъ принадлежитъ городу Providence, R. I., въ Америкѣ. Вслѣдствіе высокаго давленія въ трубахъ сдѣланы въ раструбахъ *двѣ* выточки, для болѣе надежнаго предохраненія свинцоваго кольца отъ выпиранія. Достойно вниманія устройство, примѣненное на этомъ водопроводѣ для уравновѣшиванія на закругленіяхъ смѣщающей силы, которая здѣсь, благодаря высокому давленію, выходитъ очень велика. Устройство это показано схематически на чер. 107. Оно примѣнено во всѣхъ тѣхъ случаяхъ гдѣ центральный уголъ закругленія

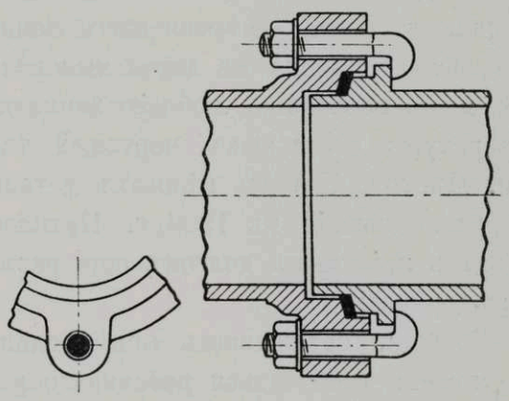
превышаетъ 10 градусовъ. Какъ видно, отдѣльныя части закругленія связаны другъ съ другомъ болтами, цѣпляющимися за ушки, прилитые къ отдѣльнымъ трубамъ, а крайнія трубы закругленія скрѣплены съ примыкающими къ нимъ прямыми частями трубопровода тоже при помощи болтовъ, которые хватаются здѣсь уже за вольные флянцы или ошейники, надѣтые на концы прямыхъ частей трубопровода. Конструкція эта оказалась весьма удачной какъ въ смыслѣ быстроты сборки и разборки, такъ и въ смыслѣ значительной прочности и сопротивляемости вырывающимъ или смѣщающимъ силамъ.

На фиг. 6 — 7 табл. 69 мы видимъ, какія старанія приходится прилагать для обезпеченія долговѣчности набивки при высокой температурѣ заключенной внутри трубы жидкости (въ данномъ случаѣ—перегрѣтый паръ).

На табл. 112, фиг. 9 и 10, показаны спеціальныя соединенія для газопроводныхъ трубъ высокаго давленія (пробное давленіе, воздухомъ—40 фунтовъ). Діаметръ этихъ трубъ—6 дюймовъ, а длина линіи—9600 футъ. Соединенія выполнены на длинѣ въ 8600 футъ—по способу *Dresser*'а (фиг. 9), требующему спеціально отлитыхъ трубъ съ узкими и тонкими раструбами. На остальной длинѣ въ 1000 футъ, для которой



Чер. 108.



Чер. 109.

такихъ трубъ не хватило, трубопроводъ выполненъ изъ обыкновенныхъ газовыхъ трубъ, соединенныхъ при помощи скобъ системы фирмы The Newton & Watertown Gas Light Co., Newton, Mass., которая исполняла всю линію.

Преимущества соединенія Dresser'а слѣдующія:

полная герметичность при всякомъ давленіи;
подвижность соединенія, которое является хорошимъ расширителемъ;
легкость сборки трубъ, если онѣ лежатъ на поверхности земли и легкость укладки ихъ въ канаву;
изолирующее свойство его противъ электролитическихъ вліяній *.

Скажемъ нѣсколько словъ спеціально относительно соединеній чугунныхъ трубъ для водяного отопленія. Однимъ изъ наиболѣе старыхъ и до сихъ поръ весьма распространенныхъ соединеній является соединеніе при помощи обыкновеннаго раструба, который заполняется на половину плетенкой или веревкой, и затѣмъ забивается суриковой замазкой, или же ржавой замазкой, или Портландскимъ цементомъ. Такія соединенія весьма долговѣчны. Необходимо только, какъ и всегда при раструбныхъ соединеніяхъ, чтобы задокъ въ раструбѣ сидѣлъ бы совершенно концентрично, такъ чтобы толщина

* Соединенія съ резиной по системѣ *Dresser'a* примѣняются и при желѣзныхъ трубахъ. Интересныя подробности объ этихъ соединеніяхъ можно найти въ каталогѣ фирмы „Catalogue. S. R. Dresser Patentee and Manufacturer of Pipe Couplings и пр.“ Bradford, Pa., U. S. A. (Offices — No. 54 Boylston St.).

заполненія вездѣ была бы одинакова; безъ этой предосторожности плетенка можетъ вылѣзать внутрь трубы.

Иногда употребляютъ соединеніе съ резиною, показанное на чер. 108. Оно болѣе дешево, но пригодно лишь для давленій не свыше 25 фунтовъ на □ дюймъ. Соединеніе съ резиною, показанное на чер. 109, пригодно для давленій до 100 фунтовъ на □ дюймъ. И въ томъ и въ другомъ соединеніи имѣется обыкновенно всего только два болта, которые цѣпляются за ушки, прилитые къ каждой трубѣ, какъ это видно на чер. 109, поэтому ушки и сдѣланы толстыми. На чер. 108 ушки не показаны въ другой проекціи.

§ 47. Удобоподвижныя соединенія.

Весьма важную роль въ техникѣ играютъ *удобоподвижныя* соединенія трубъ, конструированіе которыхъ представляется гораздо сложнѣе, нежели конструированіе обыкновенныхъ соединеній раструбами и флянцами. И какъ разъ то объ такихъ соединеніяхъ, какъ это всегда и бываетъ, въ литературѣ нѣтъ почти никакихъ свѣденій, а тѣмъ болѣе детальныхъ чертежей ихъ. Даже въ такомъ полномъ сочиненіи, какъ „Детали Машинъ“ Баха, имѣется всего лишь пять-шесть эскизовъ такихъ соединеній, безъ малѣйшаго намека на детальные размѣры и особенности конструкціи. По этой причинѣ я съ особенною любовію занялся разыскиваніемъ и собираніемъ въ иностранной литературѣ детальныхъ чертежей такихъ соединеній и данныхъ объ ихъ конструкціи. Нѣсколько очень цѣнныхъ детальныхъ чертежей было любезно предоставлено въ мое распоряженіе въ 1904 г. Путиловскимъ Заводомъ въ С.-Петербургѣ, за что считаю здѣсь пріятнымъ долгомъ еще разъ принести администраціи завода мою глубокую благодарность.

Вообще, подвижность отъ соединенія всякихъ трубъ, какъ было сказано и раньше, можетъ требоваться различнаго рода. Иногда она вполнѣ опредѣленна, иногда же болѣе или менѣе неопредѣленна. Такъ, иногда требуется, чтобы въ мѣстѣ соединенія одна труба могла вращаться относительно другой, совершая вращеніе *вокругъ геометрической оси*, неизмѣнно связанной со второй трубой. Иногда одна труба должна вращаться всячески *вокругъ точки*, неподвижно связанной со второй трубой. Иногда же, вдобавокъ къ этому, одна труба должна еще скользить относительно другой вдоль ихъ общей оси, и такъ далѣе.

Разсмотримъ различные примѣры всѣхъ этихъ типовъ, пока въ примѣненіи къ чугуннымъ и литымъ стальнымъ трубамъ.

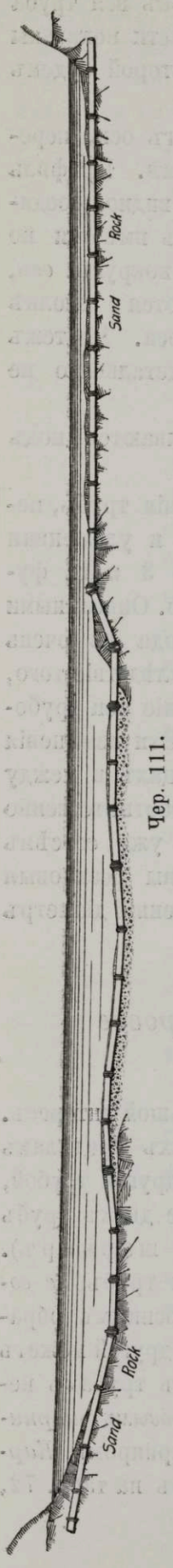
1) Одна труба должна **скользить** относительно другой по направленію ихъ общей оси.

Такія устройства носятъ спеціальное названіе *расширителей* или *компенсаторовъ*, такъ какъ назначаются почти исключительно для того, чтобы поглощать расширеніе трубопроводовъ, происходящее отъ измѣненія температуры. Вслѣдствіе своего спеціальнаго назначенія и большого распространенія всѣ такія устройства сгруппированы въ нашей книгѣ вмѣстѣ и мы ихъ описываемъ далѣе подъ спеціальнымъ именемъ расширителей. Матеріалъ ихъ имѣетъ тутъ мало интереса и потому отдѣльно чугунныхъ расширителей мы здѣсь описывать не станемъ, хотя они и помѣщены въ Атласѣ подъ рубрикою „чугунныхъ трубъ“.

2) Поворотъ трубы вокругъ неизмѣнной **оси**.

Кинематически выражаясь, въ этомъ случаѣ двѣ соединяемыя трубы должны образовать вращательную пáру, подъ условіемъ герметичности ея. На табл. 73 фиг. 12 имѣемъ одинъ примѣръ такого устройства. Мѣсто соединенія представляетъ

собою кольцевую пяту, если разсматривать дѣйствіе на него продольной силы. Въ мѣстѣ прикосновенія обоихъ флянцевъ трутся другъ по другу два бронзовыхъ кольца.

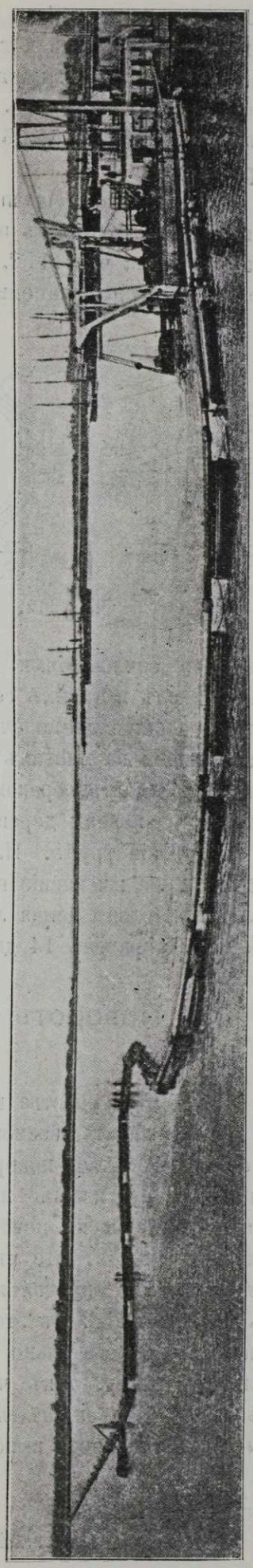


Чер. 111.

На фиг. 8 — 10 той же таблицы имѣемъ другой примѣръ, для трубъ очень большого діаметра (813 mm) выпускающихъ жидкость изъ землесоса. Вслѣдствіе значительнаго опрокидывающаго момента отъ вѣса горизонтальной части трубы (не показанной на чертежѣ), явилось невозможнымъ передать весь этотъ моментъ на самое мѣсто соединенія, которое подверглось бы крайне неравномѣрно распредѣленному напряженію на изнашиваніе и быстро сработалось бы; для того, чтобы воспринять моментъ болѣе выгодно, на значительномъ плечѣ, по срединѣ поворотнаго (верхняго) колѣна сдѣланъ еще солидный шипъ, имѣющій опору во втулкѣ, поддерживаемой двумя толстыми подкосами.

Совершенно подобнаго же рода соединеніе показано и на фиг. 4 — 5 табл. 67.

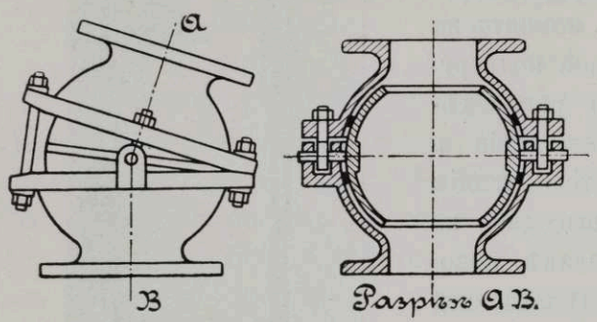
Въ большинствѣ случаевъ, подобныхъ описаннымъ здѣсь, ось, вокругъ которой требуется осуществить поворотъ трубъ, пересѣкаетъ ось трубы. Но иногда бываютъ и такіе случаи, гдѣ требуется осуществить поворотъ относительно оси, проходящей въ сторонѣ отъ оси трубопровода. Такой, сравнительно рѣдкій примѣръ, мы имѣемъ на табл. 67, фиг. 1—3; собственно, трубы здѣсь сдѣланы изъ листовой стали (толщина четверть дюйма), а литыми, стальными выполнены только оконечности ихъ, изображенныя на фигурахъ 1 – 3. Лѣвая труба на фиг. 2 опускается въ воду и оконечность ея волочится по дну рѣки и всасываетъ грязь, которая потомъ и выгоняется землесосомъ по длиннымъ плавучимъ трубамъ (какъ на чер. 110). Понятно, поэтому, что всасывающая труба должна имѣть возможность приспосабливаться къ различной глубинѣ рѣки. Слѣдуетъ сказать еще, что какъ на фиг. 4—5 таблицы 67, такъ и на фиг. 8 — 10 табл. 73 нагнетательная или выпускная труба, которая присоединяется къ изображеннымъ тамъ поворотнымъ колѣнамъ, имѣетъ весьма значительную длину и лежитъ на цѣломъ рядѣ плавающихъ понтоновъ (чер. 110); такая труба отводитъ грязь или на глубокое мѣсто или же на берегъ. Понятно, что для



Чер. 110.

возможности легко и безъ поломокъ плавать такая труба сама должна быть сдѣлана гибкой, или же имѣть хотя мѣстами гибкія части. Такъ именно и дѣлаютъ, вставляя между каждыми двумя понтонами резиновую или кожаную трубу, тогда какъ вся труба дѣлается обыкновенно изъ листового желѣза. Детально такія кожаныя части показаны на табл. 111, фиг. 15, 16 и 17. Это болѣе сложная подвижность, о которой будемъ говорить далѣе.

Нѣсколько особеннымъ способомъ достигнута подвижность вокругъ оси, пересѣкающей ось трубъ, въ подводной линіи водопровода Ottawa, въ Америкѣ. Профиль линіи виденъ на чер. 111*, а конструкція соединенія—на чер. 112. Какъ видно, соединеніе это по формѣ напоминаетъ собою шаровое, но подвижность въ немъ имѣется не вокругъ точки, какъ тамъ, а вокругъ *оси*, благодаря тому, что имѣются вполнѣ опредѣленныя матеріальныя оси. Чертежъ этотъ — эскизный, болѣе детальнаго не имѣется.



Чер. 112.

Эти сочлененія свертываются подъ водою водолазами.

Названная сейчасъ линія трубъ, пересѣкающая рѣку Иллинойсъ и уложенная по дну ея, на глубинѣ между 3 и 12 футами, устроена очень интересно. Описанными только что сочлененіями достигается измѣненіе направленія трубопровода на очень большой уголъ и такихъ сочлененій всего поставлено числомъ семь. Но вслѣдствіе того, что линія вообще идетъ очень неправильно, пришлось измѣнять направленіе оси трубопровода еще и во многихъ другихъ мѣстахъ, хотя и на меньшій уголъ. Эти измѣненія достигались такимъ образомъ. Въ семи мѣстахъ трубы свернуты на флянцахъ и между флянцами проложены деревянныя прокладки (кольца), состроганныя *косо*, соотвѣтственно углу отклоненія трубъ. Наконецъ, еще въ 15 мѣстахъ, гдѣ требуется уже совсѣмъ незначительное измѣненіе въ положеніи оси трубопровода, просто положены резиновыя прокладки. Полная длина линіи поперекъ рѣки равна 550 футамъ. Внутренній діаметръ трубопровода равенъ 14 дюймамъ.

3). Поворотъ трубы вокругъ **точки** (такъ наз. *шаровое* соединеніе трубъ).

Такія устройства встрѣчаются весьма часто и представляютъ большой интересъ. Они должны давать возможность одной трубѣ совершать (въ извѣстныхъ предѣлахъ отклоненія, конечно) повороты вокругъ *точки*, неизмѣнно связанной съ другой трубой, по всевозможнымъ направленіямъ, такъ что относительное движеніе двухъ трубъ сводится какъ бы къ повороту (скольженію) шара въ шарѣ (шаровой шарниръ). Слѣдуетъ помнить, что въ этомъ случаѣ обѣ соединяемыя оконечности трубъ *не составляютъ уже никакой кинематической пáры* съ опредѣленною единственнымъ образомъ подвижностію. Въ этомъ случаѣ поворотъ одной трубы относительно другой можетъ происходить относительно *любой* оси, проходящей черезъ общую обѣимъ трубамъ неподвижную точку, такъ что такое соединеніе можетъ быть названо *шаровымъ шарниромъ* или *шаровымъ сочлененіемъ*. Оно по сути дѣла тождественно съ шарниромъ *Кардана* (Гука) и иногда выполняется даже въ такой же формѣ, см. примѣръ на табл. 72, фиг. 1 — 5.

---

* На чер. 111 Англійскія надписи означаютъ:

Rock . . . . . скала
Sand . . . . . песокъ.

Надобность въ возможности такого шарового перемѣщенія трубъ одной относительно другой (не чугунныхъ, а вообще всякихъ), представляется въ техникѣ довольно часто тамъ, гдѣ двумъ соединяемымъ трубамъ, или тѣмъ частямъ сооруженія, съ которыми трубы неизмѣнно скрѣплены, приходится, по условіямъ работы, совершать одна относительно другой замѣтныя и довольно разнообразныя перемѣщенія, именно въ слѣдующихъ случаяхъ:

1). При укладкѣ на дно рѣки или озера длиннаго трубопровода, который желаютъ собирать не подъ водою, при помощи водолазовъ, что̀ дорого и сложно, а на поверхности земли, гдѣ работы инженеръ можетъ осмотрѣть и проконтролировать, не надѣвая на себя водолазнаго костюма, къ чему не каждый и способенъ. Понятно, что собранную на землю линію длиной въ сотни футовъ почти невозможно поднять и опустить какъ прямую палку, на дно рѣки. Эта палка переломется отъ собственнаго вѣса или во время подъема, или же на самомъ днѣ, если ляжетъ на его возвышенія такъ, что раздѣлится на малое число длинныхъ пролетовъ. Тѣмъ паче у нея разстроятся всѣ соединенія. Во избѣжаніе такихъ непріятностей, вводятъ въ длинный трубопроводъ, среди обычныхъ, жесткихъ соединеній, еще нѣсколько и шаровыхъ, такъ что собранная линія, если ее поднять за концы, представитъ какъ бы цѣпь, у которой длины звѣньевъ будутъ разстоянія между двумя смежными шаровыми шарнирами. Сообразно обстоятельствамъ, длина этихъ „звѣньевъ“ или число шаровыхъ шарнировъ, выбираются такъ, чтобы указанныхъ выше опасностей поломки и разстройства уже не приходилось бояться. Такую цѣпь, послѣ сборки, опускаютъ съ плотовъ или понтоновъ, въ воду и она ложится уже сама, отчасти какъ попало, на дно, имѣя возможность нѣсколько приспособиться къ его очертанію. Подробнѣе примѣры такихъ линій разберемъ немного далѣе. Онѣ очень употребительны въ Америкѣ, но, насколько я знаю, почти неизвѣстны въ Европѣ и у насъ въ Россіи широкому кругу публики.

2). При устройствѣ плавучихъ трубъ землесосовъ и землечерпалокъ, гдѣ длинную трубу, какъ уже сказано, надо поддерживать на плавающихъ понтонахъ, и дать возможность имъ безвредно для трубопровода играть по волнамъ. Здѣсь тоже дѣлятъ длинный трубопроводъ на секціи, соединяя ихъ подвижными соединеніями разныхъ конструкцій, какъ то: кожаные рукава, и пр. Иногда устраиваютъ здѣсь и шаровыя сочлененія.

3). При проведеніи трубъ между паровозомъ и тендеромъ. Какъ тендеръ, играя на рессорахъ, такъ въ особенности и паровозъ совершаютъ во время хода поѣзда чрезвычайно сложныя и разнообразныя движенія или колебанія, такъ что разстояніе между произвольными двумя точками, взятыми — одна на паровозѣ, а другая на тендерѣ — постоянно и неправильно измѣняется, конечно, въ извѣстныхъ предѣлахъ. Понятно поэтому, что невозможно провести отъ паровоза къ тендеру *жесткую* трубу, прикрѣпивъ ее къ тому и другому. Она моментально будетъ согнута или сломана, и такія трубы приходится дѣлать, поэтому, или всѣ сплошь гибкими (рукава), или же составлять ихъ хотя и изъ жесткихъ отрѣзковъ трубъ, но соединяя эти отрѣзки шаровыми сочлененіями, такъ чтобы образовалась цѣпь, совершенно подобно тому, какъ и въ случаѣ 1. Подобнымъ же образомъ приходится устраивать и трубы между вагонами, по которымъ проходитъ сжатый воздухъ для тормазовъ, или паръ для отопленія.

Здѣсь, въ отдѣлѣ чугунныхъ трубъ, разсмотримъ теперь подробнѣе тѣ соединенія, которыя выполнены для чугунныхъ трубъ, или же хотя для трубъ и не

чугунныхъ, но сами состоять изъ чугуна, будучи соединены съ прилегающими къ нимъ трубами иного матеріала.

Водопроводныя трубы съ шаровыми сочлененіями.

На табл. 63, фиг. 1—2, мы имѣемъ *первый* примѣръ подобныхъ трубъ, хотя, собственно, сами трубы здѣсь желѣзныя. Нѣкоторыя данныя приведены на самой таблицѣ. Въ дополненіе къ нимъ прибавимъ еще слѣдующее.

Трубопроводъ лежитъ въ канавѣ, глубиною въ 8 футъ, вырытой въ днѣ рѣки. Само шаровое соединеніе состоитъ изъ трехъ частей—раструба съ внутренней шаровой расточкой, входящаго въ эту расточку шарового раздутія другой трубы и главнаго флянца или крышки, надѣваемой на нихъ и притягиваемой болтами. Всѣ эти части должны быть отлиты изъ переплавленнаго хорошаго сѣраго чугуна съ примѣсью небольшого количества лучшихъ машинныхъ стружекъ. Пробные бруски сѣченіемъ 1×2 дюйма и 26 дюймовъ длиною, поставленные узкою стороною вертикально (узкою стороною въ плоскости изгиба) на опоры, съ пролетомъ между опорами въ 24 дюйма, должны выдерживать приложенный посрединѣ ломающій грузъ не менѣе 1900 Анг. фунт. и имѣть прогибъ не менѣе четверти дюйма. Шаровое раздутіе и раструбъ отливаются въ стоячемъ положеніи (вертикально), причемъ вверху приходится тотъ конецъ, гдѣ находится флянецъ, свертываемый съ флянцемъ желѣзной трубы. Шаровыя поверхности должны быть обточены совершенно гладко и точно по сферической поверхности. Шаровое соединеніе предварительно собирается и пробуется слѣдующимъ образомъ:

Соединеніе собирается въ мастерской, наполняется водою и пробуется гидростатическимъ давленіемъ въ 250 Англ. фунтовъ на кв. дюймъ. Порядокъ сборки такой. Раструбъ ставится на полъ, малымъ флянцемъ внизъ, и затѣмъ въ него вставляется шаровое раздутіе такъ, чтобы оно хорошенько сѣло на поясокъ, выступающій надъ внутреннею шаровою поверхностью раструба, причемъ предварительно онъ долженъ быть расточенъ внутри до надлежащаго діаметра и угла. Послѣ этого въ промежутокъ между шаровыми поверхностями вставляется и забивается волокнистая набивка (плетенка), которая должна быть догнана до дна выемки; затѣмъ остающаяся часть промежутка заливается расплавленнымъ свинцомъ, который нужно вливать одновременно въ столькихъ мѣстахъ, чтобы обезпечить полученіе сплошного свинцоваго кольца, безо всякихъ пленъ и отдулинъ или пузырей. Послѣ того, какъ свинецъ застынетъ и усядетъ, шаръ вынимаютъ изъ раструба, для того чтобы убѣдиться въ доброкачественности работы, и если работа не доброкачественна, то она должна быть передѣлана вновь. Если же работа удовлетворительна, то шаръ опять вставляется въ раструбъ и затѣмъ свинецъ расчеканиваютъ обычнымъ порядкомъ. Послѣ этого кладутъ на этотъ свинецъ вторую набивку, какъ видно на фиг. 2 табл. 63, вставляютъ на мѣсто главный флянецъ и привертываютъ его болтами, но лишь слегка, и затѣмъ заливаютъ свинцомъ и эту вторую пустоту.

Для того, чтобы убѣдиться въ доброкачественности работы, поднимаютъ теперь главный флянецъ и опять убѣждаются въ доброкачественности работы; если она удовлетворительна, то опускаютъ опять флянецъ и привертываютъ его теперь накрѣпко, послѣ чего производятъ окончательную расчеканку. Если будетъ признано необходимымъ — нагрѣть части соединенія, для того, чтобы убѣдиться въ доброкачественности работы, то это должно быть сдѣлано по требованію инспектора (пріемщика).

Если во время пробы будутъ замѣчены какіе либо недостатки, то всѣ они должны быть исправлены и если понадобится, то новыя части должны быть поставлены въ замѣнъ негодныхъ, все за счетъ подрядчика.

Во время пробы шаръ слѣдуетъ двигать во всѣ стороны, и смотрѣть, прилегаетъ ли онъ плотно во всевозможныхъ положеніяхъ. Чтобы не подвергать во время гидравлической пробы поверхности шаровъ дѣйствію продольной силы давленія жидкости

на площадь поперечнаго сѣченія трубы, слѣдуетъ закрыть оба конца пробуемыхъ частей крышками и притянуть эти крышки **одну къ другой** болтами, идущими отъ одной крышки къ другой. Соединеніе должно оставаться совершенно герметичнымъ при пробѣ давленіемъ въ 250 фунтовъ на □ дюймъ все время, пока поддерживается такое давленіе.

Флянцы закрѣпляются на желѣзныхъ трубахъ при помощи свинцовой заливки, такъ что флянецъ является какъ бы раструбомъ, а концы трубъ нѣсколько отложены, образуя какъ бы буртикъ. Между всякой парой флянцевъ должна быть проложена кольцевая (цѣльная) прокладка изъ мягкой резины, сдѣланная изъ круглой резины, діаметромъ не менѣе 13 mm для меньшихъ флянцевъ и не менѣе 16 mm—для большихъ флянцевъ. Болты — желѣзные; для меньшихъ флянцевъ — 24 болта, для большихъ — 34 болта (въ *Атласѣ* ошибочно поставлено 32), діаметромъ $1^3/_8$ дюйма.

Нѣкоторыя подробности о самихъ желѣзныхъ трубахъ этого устройства приведены въ отдѣлѣ о желѣзныхъ трубахъ.

Второй примѣръ шарового соединенія подводной линіи мы имѣемъ на табл. 108, фиг. 5. Сами трубы здѣсь—чугунныя. Длина трубы—12 футъ, а вѣсъ—около 1820 Анг. фунт. Какъ видно, для свинцовой заливки сдѣлано двѣ выточки, что способствуетъ герметичности и облегчаетъ водолазу подчеканку, если впослѣдствіи труба потечетъ. При укладкѣ этой трубы пришлось встрѣтиться съ весьма большими затрудненіями вслѣдствіе очень быстраго теченія и кратковременности (только 5 минутъ) періода между приливомъ и отливомъ (Slack Water).

Собранная на берегу на доскахъ, лежавшихъ на роликахъ, линія трубъ, поддерживаемая канатами для уменьшенія напряженій въ ней, протягивалась потомъ поперекъ пролива паровымъ воротомъ и по мѣрѣ того, какъ она ложилась въ воду, къ ней прикрѣплялись пустыя бочки для того, чтобы уменьшить треніе ея въ приготовленной для нея канавѣ, черезъ всю длину которой ее пришлось подъ конецъ протягивать. Когда вся линія улеглась въ приготовленную для нее въ днѣ канаву *, то бочки были отрѣзаны водолазомъ. Укладка трубы продолжалась *одинъ часъ сорокъ минутъ*.

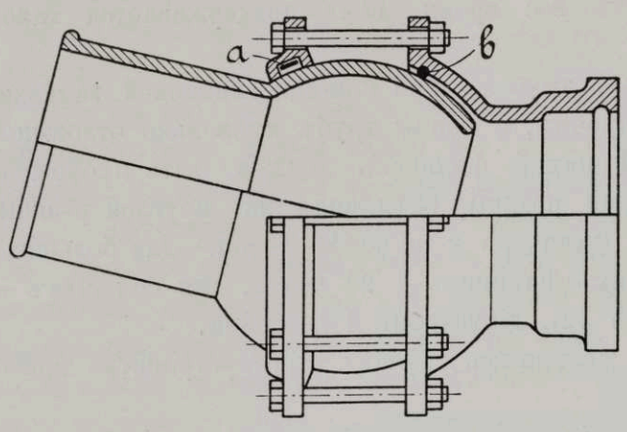
Въ описанныхъ сейчасъ двухъ примѣрахъ шаровое раздутіе представляетъ изъ себя гладкій чугунный шаръ и свинецъ заливается въ выточки р а с т р у б а. Но иногда можно встрѣтить и обратное, именно, свинецъ заливается въ выточки *шарового раздутія*, а внутренняя шаровая поверхность на раструбѣ остается совершенно гладкой чугунной. Типовъ подобныхъ конструкцій, примѣняемыхъ какъ для водопроводныхъ такъ и для другихъ цѣлей, довольно много. Мы здѣсь укажемъ главнѣйшіе.

Замѣтимъ сперва, что конструкція по образцу примѣра таблицы 63, фиг. 1—2, при которой свинецъ заливается въ раструбъ, есть самая дорогая и солидная и примѣняется только для трубъ значительнаго діаметра и при большихъ давленіяхъ жидкости въ трубѣ. Привертной (главный) флянецъ даетъ соединенію значительную солидность и надежность, обезпечивая хорошую герметичность. Болѣе дешевою является конструкція, при которой свинецъ хотя тоже заливается въ раструбъ, но главный флянецъ или крышка отсутствуютъ. Примѣръ этого мы имѣли на табл. 108, фиг. 5. Наконецъ, наиболѣе дешевый и наиболѣе распространенный способъ устройства состоитъ въ томъ, что свинецъ заливается въ выточки шарового раздутія, а внутренность раструба обтачивается по шаровой поверхности. Примѣръ подобнаго устройства мы имѣемъ на табл. 115, фиг. 5—7. Обыкновенно соединеніе такого типа выполняется такимъ образомъ, какъ показано на фиг. 5 и 6, т. е. наружная поверхность раздутія, которая должна принять на себя свинецъ, обтачивается тоже по шаровой поверхности (хотя, конечно, это вовсе не необходимо). Но иногда при этомъ встрѣчались непріятности, какъ это и было съ трубами, показанными на фиг. 5 и 6. Непріятность обнаружилась при трубахъ значительнаго діаметра. Именно, въ то время, какъ подводныя трубы со-

---

* глубина канавы около 5 футъ.

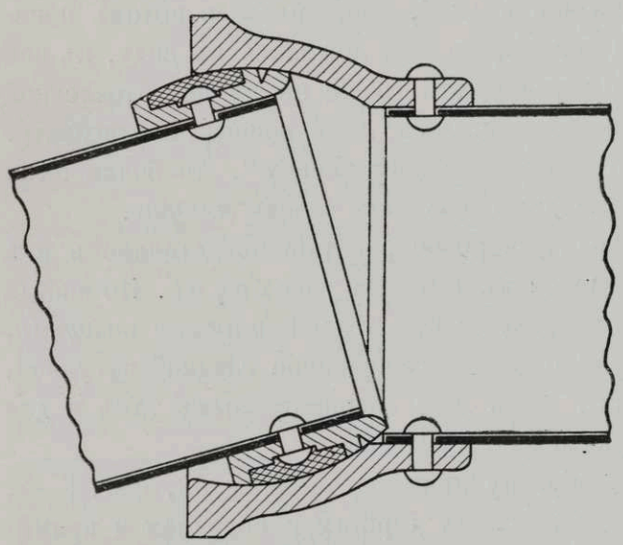
вершенно такой же конструкціи, съ внутреннимъ діаметромъ въ 12 дюймовъ, уложенныя въ томъ же городѣ Атлантикъ въ 1882 году, работаютъ вполнѣ благополучно, новыя трубы, съ діаметромъ въ 20 дюймовъ (соединеніе которыхъ и приведено въ Атласѣ), уложенныя въ 1889 году, непрерывно текли и постоянно требовали починокъ вплоть до 1896 года. При укладкѣ въ 1901 году новой линіи, инженеромъ W. C. Hawsley была измѣнена нѣсколько конструкція соединенія и оно было выполнено такъ, какъ показываетъ фиг. 7 табл. 115. Въ такомъ видѣ соединеніе обѣщаетъ работать удовлетворительно.



Чер. 113.

Слѣдуетъ упомянуть еще, что иногда для возможности сборки приходится главный флянецъ или крышку дѣлать изъ двухъ половинокъ, т. е. разрѣзать ее по діаметральной плоскости.

Заслуживаетъ еще упоминанія конструкція шарового соединенія Walker, of Fenton, Mich., показанная на чер. 113. Здѣсь, благодаря пружинѣ *a* (или иному упругому матеріалу, заложенному въ углубленіе и замѣняющему пружину) возможно и до укладки и послѣ укладки регулировать по желанію степень нажатія шаровыхъ поверхностей; *b* есть прокладка (плетенка, пенька и т. п.), заложенная въ соотвѣтствующую выточку. Такое соединеніе съ успѣхомъ было примѣнено для 20-дюймовой напорной трубы, при переходѣ черезъ рѣку Гудзонъ у форта Эдуарда.


Чер. 114.

На чер. 114 представлена сравнительно простая и дешевая конструкція фирмы Risdon Iron Works, въ Санъ-Франциско, Калифорнія. Трубы здѣсь—желѣзныя. Шаровое раздутіе одной трубы входитъ внутрь полаго шара другой и послѣ вставки туда заливается бѣлымъ металломъ (бабитомъ). Такая конструкція примѣнена, между прочимъ, для 16-дюймовой трубы, положенной поперекъ бухты Санъ Франциско. Наибольшая глубина бухты въ этомъ мѣстѣ — около 50 футъ и это создало значительныя затрудненія при постройкѣ.

Замѣтимъ еще, что въ первый разъ, насколько извѣстно, чугунныя трубы съ шаровыми сочлененіями были примѣнены еще *Джемсомъ Уаттомъ* около ста лѣтъ тому назадъ при прокладкѣ линіи водопровода г. Глазго черезъ Клайдъ. Трубы имѣли діаметръ въ 15 дюймовъ.

Трубы землесосовъ и землечерпалокъ.

На фиг. 1—5 табл. 72 мы видимъ весьма интересную и остроумную конструкцію завода Кокерилль, примѣненную впервые въ 1899 году при землечерпалкѣ сист. *Bates*, построенной по заказу Русскаго Правительства. Идея этого устройства указана въ *Атласѣ*. Именно, всѣ усилія, которыя могутъ дѣйствовать съ одной трубы на сосѣднюю, передаются при помощи чистѣйшаго шарнира Гука, конструированнаго доста-

точно солидно для выполненія этой цѣли. То обстоятельство, что мы имѣемъ трубы, а не стержни, здѣсь не имѣетъ значенія. Сами же трубы, въ добавокъ, входятъ одна въ другую, образуя шаровое соединеніе, герметичность котораго достигается здѣсь весьма оригинально при помощи велосипедной шины. Ввиду мягкости этой шины по сравненію съ металлическими частями шарнира Гука, всякое усиліе, прежде чѣмъ оно успѣетъ вызвать малѣйшую деформацію и напряженіе въ шинѣ, будетъ уже воспринято жесткими частями шарнира, даже если трущіяся мѣста нѣсколько и износятся. Эту идею надо признать весьма удачной.

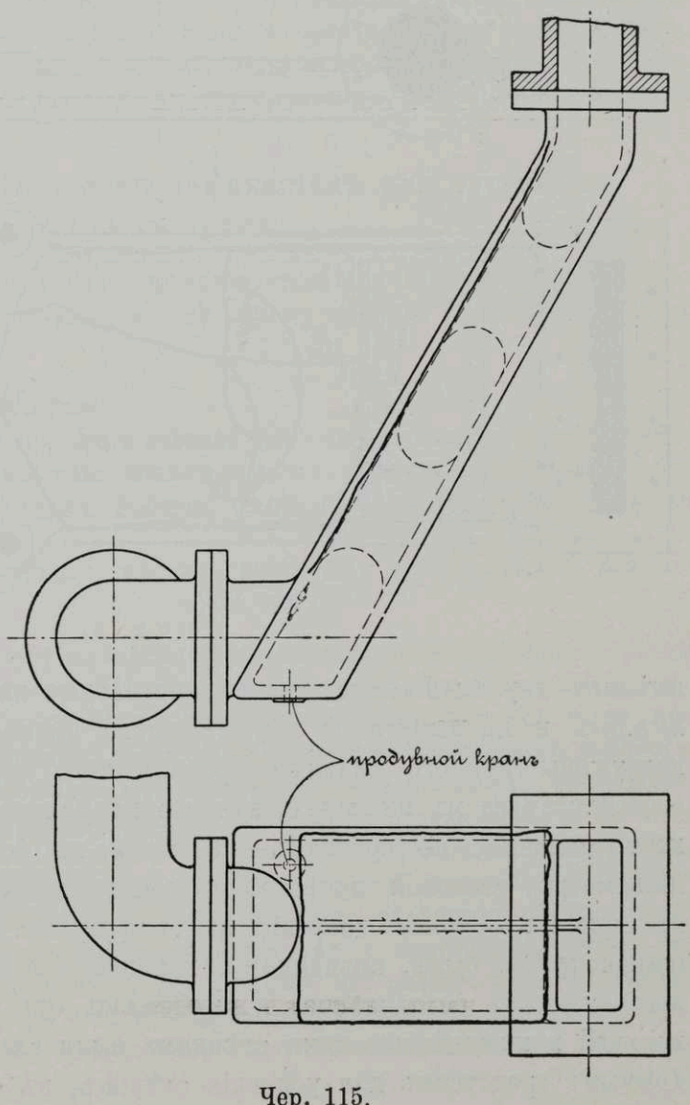
Вмѣсто имѣющейся въ относящейся къ этимъ фигурамъ надписи на таблицѣ 72 фразы—„Наибольшее напряженіе изнашиванія въ шаровомъ соединеніи не превосходитъ 0,0176 kg/□ mm“ слѣдуетъ читать—„Наибольшее давленіе изнутри трубы на мѣсто прикосновенія шины къ шару не превосходитъ 0,0176 kg/□ mm.“.

По описанному сейчасъ типу завода Кокерилль впослѣдствіи строились подобныя же соединенія Путиловскимъ Заводомъ въ С.-Петербургѣ. Детальный чертежъ такого соединенія, любезно предоставленный мнѣ Заводомъ для опубликованія, помѣщенъ на табл. 108, фиг. 1—4. Оно отличается отъ Кокериллевскаго только тѣмъ, что герметичность между шаровыми поверхностями достигается не при помощи резиновой шин , а при посредствѣ кожанаго воротника. Причину такой замѣны и раціональность ея мнѣ, къ сожалѣнію, выяснить не удалось.

Другіе примѣры шар ъ сочлененій будутъ разобраны далѣе, такъ какъ съ чугунными трубами они имѣютъ уже мало общаго. Замѣтимъ здѣсь только еще, что при выполненіи самого шарового сочлененія изъ чугуна иногда совершенно обходятся безъ какихъ либо особыхъ средствъ для достиженія герметичности и заставляютъ работать попросту чугунъ по чугуну; примѣръ такого устройства виденъ на табл. 109, фиг. 13—14.

———*———

§ 48. Чугунныя (и вообще всякія) трубы иной формы, чѣмъ круглая, встрѣчаются, какъ уже сказано, весьма рѣдко, такъ какъ стѣнки ихъ кромѣ разрыва подвергаются также и *изгибу*. При конструированіи трубъ и каналовъ такой формы необходимо быть очень осторожнымъ, въ особенности въ томъ случаѣ, если труба имѣетъ плоскія стѣнки, будучи въ поперечномъ сѣченіи прямоугольной или квадратной и т. п. формы. Насколько нужно быть осторожнымъ при конструированіи подобныхъ трубъ, показываетъ слѣдующій случай, имѣвшій мѣсто въ Англіи въ 1897 году.



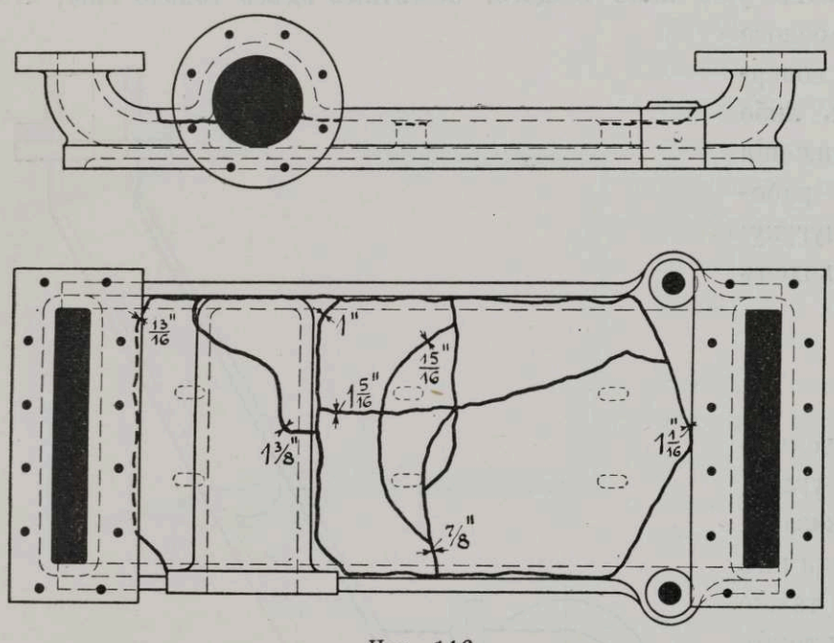
Чер. 115.

На хлопчатобумажной фабрикѣ въ Oldham, компаундъ машина была передѣлана въ машину тройнаго расширенія съ 4 цилиндрами и между паропускнымъ вентилемъ и цилиндромъ высокаго давленія была устроена при этомъ труба съ прямо-

угольнымъ сѣченіемъ, видимая на чер. 115. При этой передѣлкѣ старые котлы были также замѣнены новыми, съ болѣе высокимъ давленіемъ. Черезъ 17 мѣсяцевъ послѣ передѣлки труба эта разорвалась и сильно изувѣчила механика. Мѣсто излома показано на чертежѣ толстой линіей. Труба имѣла длину въ 5 футъ, ширину въ 17 дюймовъ, высоту въ 8 дюймовъ и толщина стѣнокъ была въ 1 дюймъ. Труба была опробована въ мастерской давленіемъ пара въ 70 фунтовъ, между тѣмъ какъ ее слѣдовало бы опробовать гидравлическимъ давленіемъ, соотвѣтствующимъ рабочему давленію въ 160 фунтовъ. Для усиленія стѣнокъ трубы конструкторы отлили, какъ видно изъ чертежа, ребро толщиною въ 1 дюймъ между широкими стѣнками трубы, но, вѣроятно, ребро это лопнуло благодаря неравномѣрной усадкѣ послѣ отливки и, не усиленная имъ, стѣнка сломалась. Водяного удара, какъ установлено изслѣдованіемъ, при этомъ не было.

Подобный же случай излома плоской стѣнки описанъ въ моихъ прибавленіяхъ къ переводу „Больной Паровой Машины“ Хедера, сдѣланному мною въ 1902—3 году.

Наконецъ, третій случай, тоже изъ практики паровыхъ машинъ, имѣвшій мѣсто опять въ Англіи, приводимъ здѣсь. Это изломъ трубы прямоугольнаго сѣченія, служившей для выпуска пара изъ малаго цилиндра машины тройнаго расширенія, для котораго она служитъ въ то же время основаніемъ. Внѣшніе размѣры трубы таковы: длина 5 футъ 5 дюймовъ; ширина 2 фута 2 дюйма; высота 5 дюймовъ. Толщина стѣнокъ трубы около $1^1/_4$ дюйма. Для усиленія плоскихъ стѣнокъ было отлито между верхнею и нижнею стѣнками шесть связующихъ столбиковъ или ребрышекъ, видимыхъ на чер. 116, каждое 3 дюйма длиною и 1 дюймъ толщиною. Труба эта соединялась съ цилиндромъ при помощи пары прямоугольныхъ флянцевъ, видимыхъ на чертежѣ. Паръ изъ нея выводился въ цилиндръ средняго давленія при помощи круглой трубы, видимой на чертежѣ. Машина была тройного расширенія, горизонтальная, тандемъ. Малый цилиндръ имѣлъ распредѣленіе Корлиссовскими кранами, а остальные два—цилиндрическими золотниками. На оконечностяхъ каждаго цилиндра имѣлись двухъдюймовые предохранительные клапаны и продувные краны. Таковые же имѣлись и на выпускной трубѣ малаго цилиндра. Предохранительные клапаны были нагружены немного сильнѣе противъ того давленія, которое полагалось имѣть въ соотвѣтствующемъ цилиндрѣ, именно: въ маломъ цилиндрѣ—нагрузка была на 180 фунтовъ давленія, въ среднемъ—на 80 и въ большомъ—на 15 фунтовъ на □ дюймъ. Манометръ, стоявшій на ресиверѣ между малымъ и среднимъ цилиндрами, показывалъ въ моментъ поломки давленіе въ 80 фунтовъ. Чугунъ, изъ котораго состояла сломавшаяся труба, былъ, повидимому, хорошаго качества, но толщина стѣнки была въ разныхъ мѣстахъ не одинакова и измѣнялась отъ $^{13}/_{16}$ до $1^3/_8$ дюйма. Шесть реберъ между верхней и нижней плоскими стѣнками были слишкомъ малы и ихъ нельзя считать надежнымъ средствомъ для усиленія стѣнокъ, въ особенности если въ ребрахъ были напряженія отъ отливки. Конструкцію трубы слѣдуетъ признать слишкомъ слабой и есть подозрѣніе, что въ стѣнкѣ была старая трещина, которая и явилась первою причиной поломки.



Чер. 116.

Для усиленія такихъ плоскихъ стѣнокъ противъ прогиба слѣдуетъ устраивать не слабыя литыя ребрышки, а связывать двѣ такія параллельныя стѣнки ввернутыми въ нихъ желѣзными или стальными связями, подобными связямъ паровозной топки и пароходныхъ цилиндровъ; хорошо на связи навертывать снаружи еще и гайки.

Вообще же, всякихъ трубъ некруглаго сѣченія слѣдуетъ избѣгать!

Нѣкоторыя подробности о чугунныхъ водопроводныхъ трубахъ.

I). Спецификаціи или техническія условія.

§ 49. Для того, чтобы убѣдиться въ доброкачественности трубы, служитъ, какъ уже сказано раньше, *пріемка* или *испытаніе* трубъ. Необходимость такихъ испытаній и тѣ требованія, которыя должны быть предъявлены къ трубамъ для того, чтобы обезпечить заказчика и вмѣстѣ съ тѣмъ не требовать невозможнаго отъ заводчиковъ, выяснились не сразу а постепенно. Для молодыхъ инженеровъ весьма полезно въ этомъ отношеніи познакомиться со старымъ докладомъ, сдѣланнымъ въ 1891 году Американскимъ инженеромъ T. W. Yardley, гдѣ все это выяснено очень понятно и наглядно. Впослѣдствіи тѣ требованія, которыя предложены въ этомъ докладѣ, подвергались нѣкоторымъ незначительнымъ измѣненіямъ и дополненіямъ, но сущность дѣла осталась та же и она то прекрасно выяснена въ докладѣ. Мы его приводимъ, поэтому, здѣсь почти полностію.

Общія соображенія инж. *Yardley* о спецификаціяхъ для чугунныхъ асфальтированныхъ трубъ.

„Чугунная труба можетъ по внѣшнему виду представляться для глаза совершенно здоровой и можетъ казаться имѣющею надлежащую форму; на самомъ же дѣлѣ труба можетъ имѣть слѣдующіе пороки:

1). Чугунъ можетъ быть плохого качества;
2). Въ чугунѣ могутъ быть остающіяся послѣ отливки вредныя напряженія, обусловленныя одною или нѣсколькими сразу изъ слѣдующихъ причинъ: неправильная формовка, перемѣнная толщина стѣнки, слишкомъ быстрое охлажденіе расплавленнаго металла послѣ отливки;
3). Толщина стѣнки различна въ разныхъ мѣстахъ вслѣдствіе невнимательной или неумѣлой формовки.

Противъ перваго порока, плохого чугуна, можно бороться, беря возможно чаще образцы матеріала и испытывая ихъ, какъ сказано ниже. Послѣдствіями плохого чугуна являются: поломки трубъ во время перевозки и укладки, затрудненія при обрѣзкѣ трубъ, поломки трубъ при ударномъ дѣйствіи заключенной въ нихъ жидкости, когда въ особенности цѣнна, кромѣ крѣпости, еще и вязкость или тягучесть матеріала. При испытаніи трубъ на заводѣ гидравлическимъ давленіемъ никакихъ ударныхъ дѣйствій пробующая жидкость не производитъ и въ водѣ пресса, вообще говоря, воздуха не бываетъ. Совсѣмъ не то бываетъ въ дѣйствительности: вода, текущая по трубамъ, никогда не бываетъ свободна отъ воздуха и быстрое закрываніе задвижекъ или вентилей и т. п. даетъ водяные удары, которые могутъ, какъ было объяснено ранѣе, достигать весьма опасныхъ мощностей. Въ особенности часто такіе удары повторяются тамъ, гдѣ имѣется много водостолбовыхъ машинъ, работающихъ прямо водою изъ водопровода. Устранить эти непріятныя вліянія—не во власти инженера и потому единственное, что онъ можетъ имъ противопоставить—это превосходное качество матеріала, чѣмъ вѣроятность поломокъ все таки будетъ сведена къ возможному минимуму.

Напряженія при отливкѣ представляютъ собою совершенно не извинительный для заводчика порокъ и всегда *могутъ* и *должны* быть устранены путемъ правильнаго обращенія съ чугу-

номъ, за чѣмъ долженъ постоянно слѣдить пріемщикъ. Многіе заводчики (въ Америкѣ) взяли скверную привычку—вытаскивать трубы изъ формы прежде, нежели онѣ достаточно остынутъ. Это очень вредно и не должно быть допускаемо. Труба не должна быть обнажаема и вынимаема изъ ямы въ то время, когда она еще показываетъ признаки красноты, ибо такая преждевременно вынутая труба быстро закаливается на своей поверхности вліяніемъ холоднаго воздуха и усадка на наружной поверхности, происходящая быстрѣе, чѣмъ внутри, вызоветъ вредныя остающіяся напряженія. Поэтому, при вынимании трубъ изъ формъ надо соблюдать величайшую осторожность. Гидравлическая проба даетъ нѣкоторую гарантію противъ такихъ трубъ съ вредными напряженіями, **но не безусловную**, такъ какъ извѣстны случаи, что труба, отлитая изъ прекраснаго, по всѣмъ пробамъ, матеріала, и опробованная высокимъ гидравлическимъ давленіемъ, и выстуканная молоткомъ, и еще разъ опробованная послѣ укладки въ канаву, лопалась нѣсколько мѣсяцевъ спустя послѣ начала работы линіи, при давленіи гораздо меньшемъ пробнаго, хотя не наблюдалось ни водяныхъ ударовъ, ни трещинъ въ трубѣ. Причиной такихъ разрывовъ служатъ вредныя напряженія при отливкѣ.

Причиной третьяго порока является обыкновенно сносъ стержня. Это не должно быть допускаемо, и не только потому, что тогда съ одной стороны толщина стѣнки выйдетъ меньше (а напряженіе въ ней на разрывъ, обратно пропорціональное площади сѣченія, выйдетъ больше). Гораздо хуже то обстоятельство, что, благодаря такой меньшей толщинѣ, эта сторона остынетъ скорѣе, нежели толстая, и отъ этого появятся опять вредныя напряженія, которыя гораздо опаснѣе, чѣмъ потеря прочности вслѣдствіе чисто геометрическаго уменьшенія площади. Правда, тѣ требованія, которыя въ настоящее время предъявляются къ трубамъ при гидравлической пробѣ, достаточно строги для того, чтобы при помощи ихъ открыть значительныя разницы въ толщинѣ стѣнокъ трубъ, но все таки пріемщикъ, не смотря на это, долженъ прилагать величайшее вниманіе при изслѣдованіи толщины стѣнокъ. Если является какое либо сомнѣніе, то слѣдуетъ изслѣдовать толщину стѣнокъ каждой трубы калибромъ (спеціальнымъ циркулемъ *). Самымъ надежнымъ испытаніемъ пригодности трубы является испытаніе ея гидростатическимъ давленіемъ (т. наз. „гидравлическая“ проба), во время котораго труба должна быть хорошенько (въ оригиналѣ, по Англійски, „*thoroughly*“ т. е. „*хорошо*“, „*здóрово*“, „*дóбре*“) ** выстукиваема молоткомъ. Обычное пробное давленіе для трубъ есть 300 фунтовъ на □ дюймъ. Но слѣдуетъ замѣтить, что такое высокое давленіе можетъ оказаться черезмѣрнымъ для пробы трубъ большого діаметра. Такъ, если мы подвергнемъ трубу съ внутреннимъ діаметромъ въ 6 дюймовъ, имѣющую толщину стѣнки въ $^1/_2$ дюйма, испытанію давленіемъ въ 300 фунтовъ, то при этомъ въ матеріалѣ стѣнки возбудится напряженіе на разрывъ около 1800 фунтовъ на □ дюймъ. Если мы подвергнемъ испытанію тѣмъ же давленіемъ трубу съ діаметромъ въ 36 дюймовъ, имѣющую толщину стѣнки въ $1^1/_4$ дюймъ, то въ матеріалѣ стѣнки возбудится уже напряженіе въ 4320 фунтовъ на □ дюймъ! Если принять сопротивленіе чугуна разрыву (коэффиціентъ крѣпости) около 16500 фунтовъ на □ дюймъ, то при испытаніи 6-дюймовой трубы мы будемъ имѣть девятикратную надежность, а при испытаніи 36-дюймовой—только четырехъкратную надежность.

Кромѣ указаннаго сейчасъ неудобства пробы большихъ трубъ давленіемъ въ 300 фунтовъ есть еще и другое, чисто практическое; именно, очень затруднительно поддерживать герметичность пробуемыхъ трубъ при давленіи въ 300 фунтовъ. Въ виду этого, для большихъ трубъ ре-

---

* Хорошій чертежъ подобныхъ циркулей имѣется въ указываемомъ далѣе „Отчетѣ“ Инж. Н. П. Зимина о постройкѣ Московскаго Водопровода.

** Слѣдуетъ обратить вниманіе на полную противоположность этого выраженія тому, что̀ нашли достаточнымъ *Русскіе* водопроводные дѣятели, установившіе въ „Нормальныхъ Техническихъ Условіяхъ“, выработанныхъ Комиссіей Русскаго Водопроводнаго Съѣзда 1901 года, что во время гидравлической пробы труба должна подвергаться „*легкимъ*“ (?) ударамъ стального молотка, вѣсомъ около 2 фунтовъ. Что молоткомъ долженъ быть „стальной“, объ этомъ едва ли стоило упоминать, а что удары должны быть „легкіе“—это слишкомъ большая любезность со стороны лицъ, устанавливавшихъ Нормы! Такое неопредѣленное выраженіе даетъ слишкомъ широкій просторъ произволу заводчика и прямо *лишаетъ добросовѣстнаго пріемщика возможности серьезно выстукивать трубы*. Могу только высказать удивленіе по поводу того, что Русскіе инженеры, которые въ водопроводномъ дѣлѣ вообще придерживались довольно близко Американскихъ Нормъ, нашли нужнымъ въ такомъ серьезномъ вопросѣ, какъ вопросъ о выстукиваніи трубъ, замѣнить совершенно естественное и понятное Американское выраженіе „*хорошенько*“ черезъчуръ мягкимъ и любезнымъ выраженіемъ „*слегка*“. Для того, чтобы убѣдиться, можетъ ли испытуемая труба *дѣйствительно сопротивляться* будущимъ *могущественнымъ* гидравлическимъ ударамъ, ее именно нужно выстукивать „**хорошенько**“, а никакъ не „слегка“!

См. далѣе, въ техническихъ условіяхъ г. Рочестеръ еще болѣе суровое требованіе относительно выстукиванія (стр. 178): надо стукать „*sharply*“ (жестоко).

комендуется меньшее пробное давленіе, именно 250 фунтовъ на □ дюймъ (см. § 17 спецификацій, приводимыхъ здѣсь ниже).

Для испытанія доброкачественности самого чугуна, при которомъ одновременно испытываются и крѣпость и мягкость матеріала, наиболѣе удобнымъ является испытаніе на *изгибъ* (прочность можно изслѣдовать и испытаніемъ на разрывъ, но измѣреніе удлиненія при такомъ прямомъ опытѣ, въ виду малаго удлиненія чугуна, является неудобнымъ), при которомъ замѣчаются: *ломающій грузъ* при извѣстныхъ, опредѣленныхъ условіяхъ и *прогибъ* бруска. Толщина ломаемаго бруска должна соотвѣтствовать толщинѣ стѣнокъ трубъ, которыя онъ какъ бы представляетъ, и бруски эти должны быть отливаемы также, подобно трубамъ, въ формахъ или въ сухомъ пескѣ, вертикально, такъ чтобы они по возможности представляли изъ себя матеріалъ трубъ. Такъ какъ испытывать постоянно бруски различной толщины было бы слишкомъ неудобно, то мы рекомендуемъ для всѣхъ трубъ одинъ и тотъ же нормальный брусокъ, именно, брусокъ длиною въ 26 дюймовъ, шириною въ 2 дюйма и толщиною въ 1 дюймъ, который нагружается на срединѣ своей длины сосредоточеннымъ грузомъ и кладется на опоры, разстояніе между которыми равно 24 дюймамъ. Испытаніе такого бруска можетъ производиться пріемщикомъ непосредственно передъ гидравлической пробой той трубы, которую онъ представляетъ (ибо изготовить и сломать такой брусокъ весьма недолго); будетъ ли потомъ труба принята или забракована, все равно, пріемщикъ дѣйствуетъ съ полною сознательностію и увѣренностію, если же испытанія производить на разрывной машинѣ, то результаты такихъ изслѣдованій обыкновенно доходятъ до пріемщика лишь черезъ нѣсколько дней послѣ того, какъ онъ принялъ трубу, которую представляетъ сказанный брусокъ.

Изъ испытаній 32 брусковъ хорошихъ заводчиковъ оказалось въ среднемъ, что нормою можно считать слѣдующія величины:

средняя ширина брусковъ была	2,01 дюйма
толщина	0,998 „
прогибъ	0,358 „
ломающій грузъ	1903 фунта
напряженіе при изломѣ	20224 фунта на □ дюймъ.

На основаніи этихъ опытовъ, и еще многихъ другихъ, произведенныхъ надъ брусками иного сѣченія *, установлены нормальныя требованія, указанныя въ приводимыхъ ниже спецификаціяхъ. Пробные бруски, установленные этими спецификаціями, какъ разъ соотвѣтствуютъ толщинамъ стѣнокъ трубъ большого діаметра, ибо именно при изготовленіи такихъ большихъ трубъ и требуется величайшая тщательность работы со стороны заводчика и величайшее вниманіе со стороны пріемщика.

Спецификаціи инж. Yardley для чугунныхъ водопроводныхъ трубъ.

1). Трубы должны быть обычнаго типа, именно съ раструбами и задками; каждая труба должна имѣть длину въ 12 футъ, считая отъ дна раструба до конца задка. Форма и размѣры раструбовъ и задковъ должны быть представлены чертежомъ съ поставленными на немъ размѣрами; чертежъ или дается заказчикомъ, или же представляется заводомъ на его одобреніе.

2). Чугунъ долженъ быть наилучшаго качества для разсматриваемой цѣли и долженъ быть тѣмъ, что въ практикѣ называютъ нейтральнымъ чугуномъ (neutral pig iron); онъ долженъ быть полученъ изъ желѣзныхъ рудъ безъ примѣси шлаковъ; отлитый въ трубы металлъ долженъ быть достаточно вязкимъ и не слишкомъ твердъ; онъ долженъ свободно рѣзаться и сверлиться при дѣйствіи на него ручными инструментами.

3). На каждой трубѣ, на наружной ея поверхности, должны быть отлиты выпуклыя латинскія буквы, $1^1/_2$ дюйма высотою, указывающія фирму, изготовлявшую трубы, и годъ изготовленія; кромѣ того, должны быть отливаемы на каждой трубѣ нумера, по порядку, начало счета которыхъ указывается заказчикомъ.

4). Трубы должны формоваться въ формахъ, въ сухую, помѣщаться во время отливки вертикально и должны быть такихъ діаметровъ, какъ указано въ контрактѣ.

5). Стѣнки трубъ должны быть гладкими и здоровыми, безъ комковъ, вздутій, чешуй, пузырей (пленъ), песчаныхъ дыръ и другихъ пороковъ; онѣ должны быть строго цилиндрическими, имѣть внутри назначенный діаметръ и наружная и внутренняя поверхности должны быть концентричны.

---

* Интересующіеся могутъ найти всѣ данныя относительно этихъ опытовъ въ журналѣ „Engineering News“ за 1891 годъ, 18 Апрѣля, откуда мы и заимствуемъ приводимую здѣсь въ переводѣ статью.

6). Стѣнки трубы должны имѣть одну и ту же толщину по всей длинѣ трубы. Если пріемщикомъ будетъ въ какомъ нибудь мѣстѣ трубы замѣчено отступленіе отъ нормальной толщины стѣнки, предписанной контрактомъ, болѣе чѣмъ на десять процентовъ, все равно, въ смыслѣ ли утолщенія или утоненія, то труба бракуется.

7). Если пріемщикъ будетъ имѣть основанія думать, что въ дѣло былъ употребленъ чугунъ съ примѣсью шлаковъ, то трубы изъ такого чугуна бракуются до тѣхъ поръ, пока не будетъ съ полною очевидностію установлено противное.

8). Пробные бруски должны быть отливаемы столь часто, какъ пріемщикъ найдетъ это нужнымъ для своихъ цѣлей, и если испытанные бруски не удовлетворяютъ требованіямъ, указаннымъ въ пунктѣ 10, то всѣ трубы, сдѣланныя изъ такого чугуна, бракуются.

9). Пробные бруски берутся такъ, какъ указано въ пунктѣ 8, и должны имѣть въ длину двадцать шесть дюймовъ, въ ширину два дюйма и въ толщину одинъ дюймъ.

10). Эти бруски должны испытываться на изломъ, будучи нагружаемы по срединѣ, при разстояніи между опорами въ 24 дюйма (и будучи положены на широкую сторону, т. е. узкими гранями вертикально), и должны выдержать при этомъ нагрузку до излома не менѣе 1900 фунтовъ, и при этомъ должны показывать прогибъ не менѣе одной четверти дюйма передъ изломомъ.

11). Эти бруски должны быть отливаемы по возможности точно съ тѣми размѣрами, которые здѣсь указаны, и не должны обрабатываться; но если ширина и толщина не будутъ строго равняться требуемымъ, то слѣдуетъ сдѣлать соотвѣтствующее перечисленіе результата опыта и послѣ этого должны получиться числа, удовлетворяющія поставленнымъ выше требованіямъ.

12). Трубы не должны быть обнажаемы и вытаскиваемы изъ ямы въ то время, когда онѣ еще показываютъ замѣтную окраску, не успѣвши еще достаточно охладиться.

13). Труба должна быть тщательно очищена, какъ внутри, такъ и снаружи, безъ употребленія кислотъ и другихъ подобныхъ жидкостей.

14). Послѣ того, какъ труба очищена, она должна быть нагрѣта до 300 градусовъ Фаренгейта и затѣмъ погружена въ ванну изъ каменноугольной смолы, имѣющей ту же температуру.

15). Когда труба вынута изъ ванны, то слой асфальтировки на ней долженъ *свободно дымиться* и остыть совершенно, до полной твердости, втеченіи одного часа, считая съ момента вынутія изъ ванны.

16). Ни одна труба не должна подвергаться гидростатическому давленію раньше, нежели слой асфальтировки совершенно отвердѣетъ.

17). Послѣ асфальтировки трубы подвергаются испытанію гидростатическимъ давленіемъ не менѣе, чѣмъ въ 300 фунтовъ на □ дюймъ для всѣхъ трубъ, имѣющихъ діаметръ въ 12 дюймовъ и менѣе, и давленіемъ въ 250 фунтовъ на □ дюймъ для всѣхъ трубъ съ діаметромъ свыше 12 дюймовъ. Во время этой пробы труба должна быть подвергаема дополнительному испытанію посредствомъ ряда ударовъ, наносимыхъ ей въ различныхъ точкахъ по всей ея длинѣ молоткомъ, вѣсомъ въ 3 фунта, насаженнымъ на рукоятку въ 16 дюймовъ длиною. Если при этой пробѣ обнаружатся въ трубѣ какіе либо недостатки, то труба бракуется.

18). Заводчикъ долженъ доставить пріемщику два желѣзныхъ кольца, наружный и внутренній калибры или шаблоны, изъ которыхъ одно показываетъ наружный діаметръ трубы у задка, а другое—внутренній діаметръ раструбнаго конца; по парѣ такихъ колецъ должно быть доставлено для каждой серіи трубъ опредѣленнаго діаметра и трубы, съ нѣкоторой неизбѣжной разницей, должны подходить точно подъ эти шаблоны.

19). Вѣсъ каждой трубы долженъ насколько возможно приближаться къ нормальному. Всякая труба, недостача вѣса которой противъ нормальнаго превышаетъ 3% отъ нормальнаго вѣса—бракуется и ни одна труба не будетъ приниматься и оплачиваться въ томъ случаѣ, если вѣсъ ея превосходитъ нормальный болѣе, чѣмъ на 3 процента. Эти требованія должны опредѣляться по вѣсу каждой отдѣльной трубы особо.

20). Всѣ приспособленія, необходимыя пріемщику для того, чтобы выполнить требованія, предписываемыя этими спецификаціями, должны быть доставлены заводчикомъ безплатно".

Теперь приведемъ новыя спецификаціи изъ Американской практики.

§ 50. *Спецификаціи для водопроводныхъ трубъ города Рочестеръ.*

Размѣры и вѣса трубъ. — Трубы должны быть типа, извѣстнаго вообще подъ именемъ трубъ съ „раструбами и задками“, и вообще каждая прямая труба должна имѣть въ длину около двѣнадцати футъ, считая отъ дна раструба до конца задка. Прямыя трубы съ длиною менѣе 11 футъ 8 дюймовъ приниматься вовсе не будутъ; но при этомъ подразумѣвается, что не болѣе какъ два процента полнаго потребнаго числа трубъ каждаго класса могутъ имѣть длину въ 10 футъ и болѣе, полученную надлежаще произведенною на токарномъ станкѣ обрѣзкою отлитыхъ съ пороками задковъ трубъ. Форма и размѣры раструбовъ и задковъ всѣхъ трубъ и отливокъ (фасонныхъ частей) должны быть представлены на одобреніе инженера, если имъ не были даны спеціальные чертежи, и должны соотвѣтствовать аккуратно, по формѣ и по размѣрамъ, всѣмъ чертежамъ, которыя могутъ быть имъ доставляемы время отъ времени.
(Смотри прилагаемый чертежъ для размѣровъ нормальныхъ водопроводныхъ трубъ города Сентъ-Луи).

Вѣса и размѣры прямыхъ трубъ должны совпадать съ числами настоящей таблицы, причемъ, однако, ставится условіе, что они впослѣдствіи могутъ во всякое время быть измѣняемы инженеромъ:

Таблица размѣровъ (въ дюймахъ) и вѣсовъ (въ фунтахъ) прямыхъ трубъ.

номинальный внутренній діаметръ трубы	классъ	толщина оболочки	наружный діаметръ оболочки	толщина свинцоваго кольца	глубина раструба	нормальный вѣсъ трубы съ длиною въ 12 футъ: одного погоннаго фута	нормальный вѣсъ трубы съ длиною въ 12 футъ: одной трубы	допускаемое уклоненіе отъ вѣса трубъ въ 12 футъ длиною, въ %	наибольшій вѣсъ трубы въ 12 футъ длиною	наименьшій вѣсъ трубы въ 12 футъ длиною	вычетъ изъ нормальнаго вѣса трубы на каждый дюймъ недостачи длины противъ 12 футъ	прибавка къ нормальному вѣсу на каждый дюймъ излишней длины трубы противъ 12 футъ
36	A	1 1/4	38 1/2	отъ 7/16 до 1/2	4 1/2	492	5904	3	6081	5727	51	41
36	B	1 1/8	38 1/2	„ 7/16 „ 1/2	4 1/2	444	5328	3	5488	5168	47	37
36	C	1	38 1/2	„ 7/16 „ 1/2	4 1/2	397	4764	3	4907	4621	43	33
30	B	1	32 1/4	„ 3/8 „ 7/16	4 1/2	330	3960	3	4079	3841	35	26
20		3/4		„ 3/8 „ 7/16	3 3/4	165	1980	4	2059	1901	20	14
12		9/16		„ 3/8 „ 7/16	3 1/2	75	900	4	936	864	8	6
10		1/2		„ 5/16 „ 3/8	3 1/2	56	672	4	699	645	7	5
8		7/16		„ 5/16 „ 3/8	3 1/4	41	492	4	512	472	4	3
6		27/64		„ 5/16 „ 3/8	3 1/4	30	360	4	374	346	3	2

Указанный здѣсь внутренній діаметръ трубы есть номинальный, но ни одна труба или фасонная часть не должна имѣть внутренняго діаметра меньше, чѣмъ номинальный. Наружный діаметръ всѣхъ указанныхъ классовъ трубъ долженъ быть вездѣ одинаковъ и всякое измѣненіе толщины стѣнокъ должно дѣлаться за счетъ внутренняго діаметра.

Толщина стѣнокъ трубъ и фасонныхъ частей измѣряется послѣ того, какъ онѣ будутъ старательно очищены, но раньше асфальтировки. Всякая труба, какого бы то ни было класса, толщина которой меньше противъ требуемой спецификаціями (или потребованной впослѣдствіи инженеромъ) толщины въ томъ же мѣстѣ на величину, бо́льшую одной шестнадцатой (1/16) дюйма— бракуется.

Ни одна труба съ полной потребной длиной не будетъ принята, если вѣсъ ея окажется меньше указаннаго выше наименьшаго допустимаго вѣса, и ни за какой излишекъ въ вѣсѣ трубы противъ указаннаго наибольшаго вѣса платиться не будетъ. Кромѣ того, нарочито подчеркивается, что средній вѣсъ прямыхъ трубъ нѣкоторыхъ классовъ не долженъ превосходить нормальный вѣсъ болѣе, чѣмъ на два процента этого послѣдняго, и что при окончательномъ расчетѣ за

лишній противъ этого процентнаго количества вѣсъ платиться не будетъ. Нормальный вѣсъ прямыхъ трубъ зависитъ отъ укладочной длины трубъ дѣйствительно доставленныхъ и устанавливается инженеромъ.

Качество металла.—Матеріалы, детали изготовленія и испытанія всѣхъ трубъ и фасонныхъ частей, указанныхъ здѣсь, должны во всякое время подлежать надзору и одобренію инженера. Металлъ, который долженъ быть переплавленъ въ вагранкѣ или на воздушномъ дутьѣ, не долженъ имѣть въ себѣ примѣсей шлаковатаго чугуна или иныхъ низкаго сорта чугуновъ, и долженъ быть такого качества, чтобы труба была прочной, вязкой и имѣла бы здоровое, равномѣрное зерно, долженъ быть свободенъ отъ несвязаннаго химическаго (свободнаго) углерода при испытаніи подъ микроскопомъ, и долженъ удовлетворительно выдерживать сверленіе, обрубку и рѣзаніе. Коэффиціентъ крѣпости его на растяженіе и на живое сопротивленіе (*resilience*), при испытаніи надлежащихъ образцовъ, должны удовлетворять всѣмъ изложеннымъ ниже требованіямъ.

Образцовые бруски изъ употребляемаго въ дѣло металла должны быть изготовлены съ размѣрами и формой, удобными для испытанія на разрывной машинѣ, и подвергнуты тщательной пробѣ на разрывъ. Другая серія образцовъ, каждый изъ которыхъ имѣетъ двадцать шесть (26) дюймовъ длины, два (2) дюйма ширины и одинъ (1) дюймъ толщины, должна также быть изготовляема столь часто, какъ инженеръ найдетъ это нужнымъ, и должна быть подвергаема пробѣ на изломъ и на прогибъ такимъ образомъ, что бруски эти помѣщаютъ горизонтально на опоры, отстоящія другъ отъ друга на двадцать четыре дюйма (24), кладя ихъ на широкую сторону, и нагружая постоянно увеличивающимся грузомъ, который прикладывается на срединѣ длины бруска.

Образцы для испытанія на изломъ или живое сопротивленіе металла должны быть отливаемы по правильнымъ моделямъ въ сухомъ или сыромъ пескѣ и должны по возможности имѣть потребные размѣры безъ помощи обработки; необходимыя поправки должны быть сдѣланы при полученіи окончательныхъ результатовъ, если ширина и толщина образцовъ немного уклоняются отъ нормальныхъ. Образцы для испытанія на разрывъ, наоборотъ, должны быть обточены на токарномъ станкѣ, для того, чтобы удалить съ нихъ наружный слой литейной корки и сдѣлать діаметръ точно измѣримымъ.

По крайней мѣрѣ одинъ наборъ изъ четырехъ образцовъ изъ каждаго рода ихъ, указаннаго выше, долженъ изготовляться и испытываться по указаннымъ выше требованіямъ ежедневно, въ каждый рабочій день во время изготовленія трубъ и фасонныхъ частей. Эти образцы должны отливаться изъ ковша или передъ отливкой трубъ и фасонныхъ частей или послѣ отливки и представлять изъ себя дѣйствительно образцы чугуна, употребляемаго для сказанныхъ трубъ и фасонныхъ частей. О всѣхъ результатахъ испытаній образцовъ должны вестись записи и надлежащимъ образомъ засвидѣтельствованныя копіи протоколовъ такихъ испытаній должны еженедѣльно представляться инженеру.

Качество чугуна, употребляемаго для трубъ и фасонныхъ частей, должно быть таково, чтобы сказанные образцы при испытаніи на изгибъ, какъ указано раньше, выдерживали бы до излома приложенный по срединѣ грузъ не менѣе какъ въ тысячу девятьсотъ (1900) фунтовъ и имѣли бы прогибъ не менѣе пяти шестнадцатыхъ ($^5/_{16}$) дюйма; коэффиціентъ крѣпости на разрывъ сказанныхъ брусковъ долженъ быть не менѣе 17000 фунтовъ на квадратный дюймъ, при опредѣленіи его съ первой названной серіей образцовъ. При опредѣленіи пригодности металла на основаніи упомянутыхъ образцовъ, среднее арифметическое изъ трехъ наибольшихъ чиселъ, полученныхъ изъ каждой серіи четырехъ образцовъ, считается дѣйствительною мѣрою крѣпости матеріала.

Изготовленіе трубъ и фасонныхъ частей.—Всѣ прямыя трубы должны отливаться въ формахъ и въ сухомъ пескѣ, вертикально, раструбомъ внизъ. На каждой трубѣ должны имѣться ясно отлитые иниціалы фабриканта, а также годъ, буква, обозначающая классъ, и число, означающее порядокъ отливки въ смыслѣ времени; различные классы трубъ должны имѣть свою особую нумерацію; знаки и буквы должны имѣть по крайней мѣрѣ два дюйма въ длину и соотвѣтственную ширину; вѣсъ каждой трубы долженъ быть отчетливо написанъ на внѣшней ея поверхности, ранѣе отправки, краской изъ свинцовыхъ бѣлилъ, что дѣлается за счетъ подрядчика.

Отвѣтвленія и всѣ другія фасонныя части должны соотвѣтствовать по вѣсу и по толщинѣ чугуна чертежамъ и указаніямъ, даннымъ инженеромъ, и никакой добавочной платы за изготовленіе или измѣненіе моделей для трубъ и фасонныхъ частей не будетъ дано, также какъ и за машинную работу для надлежащаго обтачиванія и разсверливанія флянцевъ при соединеніяхъ трубъ флянцами на болтахъ. Всѣ потребныя обработки сказанныхъ отливокъ на станкахъ должны быть сдѣланы наилучшимъ образомъ, согласно сказаннымъ планамъ и указаніямъ инженера и къ его полному удовлетворенію. Сказанныя отливки должны быть подвергнуты тѣмъ же изслѣдованіямъ и пробамъ въ литейной, исключая лишь пробу водянымъ давленіемъ, какъ и прямыя трубы, и должны быть замѣчены такимъ же образомъ. Инженеръ можетъ забраковать, безъ испытанія,

всякую трубу или фасонную часть, которая не согласна съ спецификаціями или съ доставленными заводчику чертежами.

Трубы и фасонныя части не должны быть вынимаемы изъ литейной ямы, если онѣ еще показываютъ признаки горячаго состоянія (по цвѣту), но должны быть оставлены въ формахъ достаточно долгое время, для того, чтобы воспрепятствовать неравномѣрному охлажденію и сокращенію, могущему послѣдовать отъ слишкомъ поспѣшнаго обнаженія ихъ.

Послѣ того, какъ трубы и фасонныя части вынуты изъ формъ, онѣ должны быть подвергнуты тщательному изслѣдованію и пробѣ молоткомъ, для того чтобы узнать и открыть различные пороки. Послѣ этого онѣ должны быть хорошо очищены и освобождены отъ земли, песку и пыли, которыя пристаютъ къ чугуну въ формѣ; для этого должны употребляться щетки изъ желѣзной проволоки, а также и болѣе мягкія щетки для сметанія свободной пыли. Никакихъ кислотъ при очисткѣ трубъ не должно быть употребляемо. Послѣ того, какъ трубы надлежащимъ образомъ очищены, онѣ снова должны быть подвергнуты тщательному осмотру и испытанію молоткомъ. Подрядчикъ обязанъ размѣщать всѣ трубы въ литейной такъ, какъ инженеръ найдетъ необходимымъ для удобнаго производства испытаній.

Трубы и фасонныя части должны быть свободны отъ шлака, песчаныхъ дыръ, воздушныхъ пузырей и прочихъ недостатковъ и пороковъ; онѣ должны быть строго цилиндрическими внутри; трубы должны имѣть прямую ось, если онѣ прямыя, а фасонныя части по своей формѣ и кривизнѣ оси должны соотвѣтствовать потребной для нихъ формѣ и кривизнѣ оси; онѣ должны имѣть внутри діаметръ равный полному потребному діаметру и внутренняя и наружная поверхности ихъ должны быть концентричны. Для того, чтобы обезпечить надлежащій діаметръ раструба и задка, желѣзный шаблонъ потребныхъ размѣровъ долженъ быть продвигаемъ до дна каждаго раструба, а круглое кольцо должно быть пропущено черезъ каждый задокъ. Никакія трубы и фасонныя части не будутъ приниматься, если онѣ имѣютъ пороки въ мѣстѣ соединенія, все равно, получились ли они отъ эксцентричности формы, или чего другого. Никакихъ наростовъ или неровныхъ мѣстъ не должно оставаться въ муфтахъ и раструбахъ и никакихъ заполненій пробками и тому подобнымъ не допускается. Всѣ трубы и фасонныя части съ имѣющими пороки раструбами и флянцами—бракуются.

Если требуется отрѣзать у прямой трубы задокъ, имѣющій пороки, то такая отрѣзка должна быть всегда производима на токарномъ станкѣ, и на получившійся послѣ отрѣзки новый конецъ трубы должно быть надѣто въ горячемъ состояніи подходящее кольцо или ошейникъ изъ желѣза полуовальнаго сѣченія, такъ около трехъ четвертей ($^3/_4$) дюйма въ ширину и пять шестнадцатыхъ дюйма ($^5/_{16}$) толщиною; изъ первоначальнаго же вѣса трубы должна быть вычтена величина, соотвѣтствующая даннымъ приведенной выше таблицы.

Асфальтировка трубъ и фасонныхъ частей.—Послѣ того, какъ произведены описанные выше очистка и осмотръ, каждая труба и фасонная часть должны быть нагрѣты въ приспособленной для этого печи до температуры около 320° Фаренгейта и, имѣя такую температуру, должны быть погружены въ ванну изъ горячей каменноугольной смолы, приготовленной, вообще, по способу Доктора Ангуса Смита. Слѣдуетъ спеціально наблюдать за тѣмъ, чтобы поверхности всѣхъ трубъ и фасонныхъ частей были бы совершенно чисты и свободны отъ ржавчины передъ самымъ погруженіемъ ихъ въ ванну. Если какая-нибудь труба или фасонная часть не можетъ быть погружена въ ванну вскорости послѣ того, какъ она вынута изъ формы, то немедленно послѣ этого вынутія она должна быть тщательно покрыта слоемъ чистаго льнянаго масла, для того чтобы предохранить ее отъ образованія ржавчины до тѣхъ поръ, пока она не подвергнется сказанной асфальтировкѣ.

Упомянутая выше краска для трубъ (асфальтировка) должна быть сдѣлана изъ угольной смолы, перегоняемой до тѣхъ поръ, пока нефть совершенно удалится и матеріалъ потеряетъ запахъ, и пока смола не получитъ густоты воска въ холодномъ состояніи. Смола, которая дѣлается въ холодномъ состояніи твердой и хрупкой, должна быть забракована. Къ этому матеріалу прибавляется отъ пяти до шести процентовъ по вѣсу чистаго варенаго льняного масла и затѣмъ все опять хорошенько надо прокипятить. Относительныя количества смолы и масла, а также различныя подробности смѣшенія и кипяченія должны быть старательно выяснены на опытѣ.

Покрышка (слой асфальтировки) должна быть долговѣчной, мягкой, глянцевитой, крѣпкой, вязкой, совершенно водонепроницаемой, не должна портиться отъ дѣйствія кислотъ и солей, находящихся въ почвѣ, должна быть свободна отъ пузырьковъ и пленъ, должна крѣпко пристать къ чугуну при всякихъ обстоятельствахъ и не должна имѣть никакой наклонности сдѣлаться столь мягкой, чтобы течь, если подвергнется лѣтомъ прямому дѣйствію солнечныхъ лучей, или дѣлаться столь хрупкой, что будетъ лупиться зимой. Какъ одно изъ испытаній качества асфальтировки служитъ слѣдующее: надлежащимъ образомъ асфальтированный образецъ погружается въ застывающую смѣсь и держится тамъ до тѣхъ поръ, пока металлъ пріобрѣтетъ температуру сказанной

смѣси, послѣ чего пробную трубу или часть хорошенько околачиваютъ молоткомъ. Если слой покрышки остается тягучимъ и показываетъ крѣпкое прилипаніе къ металлу, то онъ признается хорошимъ, если и во всѣхъ другихъ отношеніяхъ онъ тоже удовлетворителенъ.

Послѣ того, какъ приготовлена будетъ асфальтирующая смѣсь надлежащаго качества, она должна быть нагрѣта въ бакѣ, куда будутъ погружаться трубы, до температуры около 300° Фаренгейта, или вообще до такой температуры, которая будетъ признана подходящей, и должна поддерживаться при этой температурѣ все время, пока въ нее погружены трубы. Время отъ времени должны быть подбавляемы свѣжіе матеріалы въ надлежащей пропорціи, чтобы смѣсь поддерживалась при надлежащей степени густоты и состава. Точныя пропорціи составныхъ частей опредѣляются инженеромъ и должны быть измѣняемы согласно времени года, по указаніямъ того же инженера, или вообще по тому, какъ будетъ признано нужнымъ, чтобы получить асфальтировку надлежащаго качества. Бакъ по временамъ слѣдуетъ совершенно опорожнять отъ его содержимаго и наполнять вновь свѣжимъ матеріаломъ; какъ часто дѣлать такую операцію—зависитъ отъ характера смѣси и отъ способа веденія самого процесса асфальтировки.

Каждая труба и фасонная часть, послѣ того, какъ была осмотрѣна, очищена и высушена, какъ сказано раньше, должна быть нагрѣта въ надлежащаго устройства печи до температуры примѣрно на двадцать градусовъ большей, чѣмъ та, которая признана наиболѣе подходящей для самой асфальтирующей ванны и съ такой температурой должна быть опущена въ сказанную ванну. Всѣ трубы и фасонныя части должны оставаться въ бакѣ по крайней мѣрѣ въ теченіи двадцати (20) минутъ или и того дольше, вообще столько, чтобы была обезпечена здоровая асфальтировка.

Въ то время, когда какая нибудь труба или фасонная часть находятся въ сказанной ваннѣ, горячая смѣсь должна тщательно перемѣшиваться, что̀ достигается путемъ вращенія, катанія или качанія трубы или части, а послѣ удаленія отливки изъ бака слой асфальтировки на ней долженъ въ теченіи короткаго времени свободно дымиться и черезъ часъ послѣ этого долженъ совершенно застыть и стать совершенно твердымъ. Надлежащія средства для удобнаго обращенія съ отливками должны быть доставлены подрядчикомъ и онъ обязанъ позаботиться также и о томъ, чтобы имѣлся всегда излишекъ матеріала, нужный для того, чтобы труба могла стечь. Стоимость всѣхъ работъ и матеріаловъ при процессѣ асфальтировки трубъ и фасонныхъ частей должна быть включена въ цѣны, заявленныя на поставку сказанныхъ трубъ и фасонныхъ частей.

Проба.—Послѣ того, какъ сказанная асфальтировка хорошо усѣла и застыла, каждая труба должна быть подвергнута пробѣ гидравлическимъ давленіемъ отъ 200 до 300 фунтовъ на квадратный дюймъ, смотря по ея классу и діаметру и по указанію инженера. Каждая труба, въ то время какъ она находится подъ сказаннымъ давленіемъ, должна быть *сильно* (sharply) * обстукиваема отъ одного конца до другого ручнымъ молоткомъ (ручникомъ), для того, чтобы узнать, нѣтъ ли какихъ либо недостатковъ, незамѣченныхъ раньше; и тѣ трубы, которая при этомъ покажутъ какіе нибудь пороки, напр. течи, потѣніе и т. п., должны быть забракованы.

Всѣ перечисленные выше осмотры, операціи и испытанія трубъ и пробныхъ брусковъ должны производиться за счетъ подрядчика, но сюда не входитъ жалованіе пріемщику, каковое производится строительной комиссіей. Если потребуетъ строительная комиссія, то литейный мастеръ и его подмастерія, принимающіе участіе въ сказанныхъ испытаніяхъ, обязаны представлять инженеру свои показанія время отъ времени; сказанныя показанія вносятся въ книги пріемщика и детально удостовѣряютъ, что трубы или фасонныя части, въ нихъ упоминаемыя, были тщательно опробованы въ литейной согласно со спецификаціями и что въ нихъ никакихъ пороковъ не было открыто или нельзя было открыть.

Взвѣшиваніе для расплаты.—Для уплаты денегъ трубы и фасонныя части взвѣшиваются послѣ всѣхъ очистокъ и отдѣлокъ и машинной обработки и послѣ того, какъ онѣ уже покрыты слоемъ асфальтировки, и подрядчикъ долженъ доставить за свой счетъ вѣрные и надлежащимъ образомъ клейменые вѣсы, а также обязанъ и производить эту работу. Строительная комиссія сохраняетъ за собою право—перевѣшивать трубы и фасонныя части на подобныхъ же вѣсахъ при самомъ ихъ прибытіи на мѣсто назначенія, или и послѣ этого; и если будетъ замѣчена какая либо разница между вѣсомъ, означеннымъ на сказанной трубѣ или фасонной части и тѣмъ, который будетъ полученъ при такомъ перевѣшиваніи, то при окончательномъ расчетѣ принимается во вниманіе этотъ послѣдній вѣсъ. Уплата за весь доставленный матеріалъ, согласно настоящимъ спецификаціямъ, производится по цѣнамъ, заявленнымъ за чистую тонну (2000 фунтовъ) вѣса прямой трубы или фасонной части.

Перевозка трубъ и фасонныхъ частей. — Всѣ трубы и фасонныя части должны доставляться на мѣсто вполнѣ здоровыми во всѣхъ отношеніяхъ и согласно съ настоящими спецификаціями. Послѣ доставки трубъ и фасонныхъ частей на мѣсто назначенія, строительная комиссія

---

* курсивъ—мой! *А. С.*

сохраняетъ за собою право подвергнуть ихъ такой же пробѣ водянымъ давленіемъ и молоткомъ, какая указана въ спецификаціи выше для испытанія въ литейной; и всѣ оказавшіяся при этомъ съ пороками трубы или фасонныя части, хотя бы онѣ уже и были приняты пріемщикомъ въ литейной, а также трубы и части, которыя подверглись излому во время перевозки къ мѣсту назначенія, будутъ забракованы теперь, если только онѣ не могутъ быть обрѣзаны, какъ указано далѣе. При обращеніи съ трубами и фасонными частями слѣдуетъ имѣть заботу о томъ, чтобы не повредить слой асфальтировки, и во время перевозки и вообще послѣ асфальтировки, никакой матеріалъ не долженъ быть помѣщаемъ во внутрь этихъ трубъ.

Если, по прибытіи къ мѣсту назначенія, задокъ трубы или фасонной части будетъ найденъ треснувшимъ или выломаннымъ, во время ли перевозки изъ литейной къ этому мѣсту назначенія или еще гдѣ либо, то такая испорченная часть трубы отрѣзается за счетъ подрядчика, если только она не превосходитъ въ длину четырехъ (4) футъ, и на новый, получившійся послѣ этого задокъ трубы должно быть надѣто въ горячемъ состояніи надлежащее кольцо или ободокъ, какъ указано раньше въ спецификаціяхъ. Въ такомъ случаѣ также долженъ быть сдѣланъ вычетъ изъ первоначальнаго вѣса такой трубы по даннымъ, указаннымъ въ приведенной выше таблицѣ, на каждый дюймъ длины отрѣзанной части трубы. Никакая труба или фасонная часть, у которой окажется раструбъ треснувшимъ или съ какимъ нибудь порокомъ, не будетъ приниматься ни на сказанномъ мѣстѣ назначенія и ни въ какомъ другомъ мѣстѣ; и ни одна фасонная часть съ порочнымъ задкомъ не будетъ приниматься и допускаться къ обрѣзкѣ безъ письменнаго приказа инженера.

§ 51. *Спецификаціи на укладку водопроводныхъ трубъ въ г. С.-Луи* (Америка).

Всѣ переходы, колѣна, крышки и другія подобныя части, которыя подвержены вытаскиванію *, должны быть крѣпко притянуты хомутами и болтами, и, въ добавокъ къ этому, позади всѣхъ крышекъ, колѣнъ, пожарныхъ гидрантовъ и тройниковъ должны быть сдѣланы крѣпкіе упоры, имѣющіе большую опорную поверхность на окружающую ихъ не взрытую землю (грунтъ), плотно расклиненные. Всѣ операціи, необходимыя для правильнаго дѣйствія распредѣлительной сѣти, должны быть сдѣланы и закончены къ тому времени, когда будетъ пущена въ нее вода.

Хомуты и болты, употребляемые въ дѣло, должны быть сдѣланы изъ лучшаго Американскаго желѣза, и размѣры и выполненіе ихъ, такъ же какъ и матеріалъ, должны во всѣхъ отношеніяхъ удовлетворить пріемщика.

Всякій пропускъ развѣтвленія, задвижки или иной принадлежности, которая должна была быть поставлена, долженъ быть исправленъ, когда потребуется, путемъ открытія канавы, если она уже засыпана и вставкою въ сѣть того, что было пропущено.

Во время укладки задки трубъ должна прилаживаться въ раструбъ такимъ образомъ, чтобы вокругъ нихъ оставалось кольцевое пространство вездѣ одинаковой ширины, и если какая нибудь труба не даетъ возможности удовлетворить этому требованію, то она должна быть замѣнена другою, подходящихъ размѣровъ. Самый шовъ (слой заполненія) долженъ имѣть вездѣ толщину не менѣе какъ въ пять шестнадцатыхъ дюйма. Если шовъ дѣлается со свинцомъ и плетенкой, то глубина свинца не должна быть менѣе трехъ съ четвертью дюймовъ для трубъ съ діаметромъ въ пятнадцать дюймовъ и болѣе, и не менѣе двухъ и трехъ четвертей дюйма для трубъ меньшаго діаметра. Плетенки (забивка) изъ чистой, хорошей пеньковой пряди, плетеныя или скрученныя, и туго заколоченныя, должны употребляться для заполненія стыковъ; тамъ, гдѣ это потребуется, между двумя смежными трубами долженъ быть оставляемъ промежутокъ въ четверть дюйма.

Свинецъ долженъ быть лучшаго качества, чистый и мягкій, и имѣть способность хорошо расчеканиваться и долгое время поддерживать стыкъ герметичнымъ.

Передъ заливкой свинца мѣста стыка должны быть старательно вычищены, чтобы они были совершенно сухи и чисты; весь стыкъ долженъ быть залитъ съ одного разу, и горшокъ, гдѣ расплавляютъ свинецъ, долженъ всегда держаться въ предѣлахъ пятидесяти футъ разстоянія отъ подлежащаго заливкѣ стыка.

Стыкъ должны чеканить опытные слесаря. Чеканка должна производиться на-совѣсть и такимъ образомъ, чтобы обезпечить герметичность стыка не напрягая черезчуръ чугуна раструба. Во всѣхъ случаяхъ чеканка должна производиться по направленію къ задвижкамъ и другимъ точкамъ, гдѣ можно ожидать пористыхъ мѣстъ въ свинцѣ, для того, чтобы гнать свинецъ къ этимъ мѣстамъ. Свинецъ, послѣ того какъ онъ зачеканенъ въ раструбъ, долженъ быть сравненъ съ торцемъ раструба.

---

* подразумѣвается: „давленіемъ жидкости“. *А. С.*

Трубы и всѣ другія фасонныя части должны быть старательно обметены и вычищены, при укладкѣ ихъ, отъ земли или сора, которыя могли оказаться попавшими внутрь ихъ (или передъ укладкой или во время самой укладки). Передъ оставленіемъ работъ на ночь всякій открытый конецъ трубы долженъ быть заколоченъ пробкой, или какъ нибудь иначе закрытъ.

При засыпкѣ канавъ земля, заполняющая дно канавы, и земля подъ и надъ трубами и другими фасонными частями должна быть тщательно убита и утрамбована подходящими для этой цѣли инструментами.

Всякій разъ, когда для этого дано писаное приказаніе, подрядчикъ долженъ заполнять канавы рѣчнымъ пескомъ, дѣлая такое заполненіе строго согласно съ приказаніями и указаніями наблюдающаго за работами. За всякое песчаное заполненіе, произведенное такимъ образомъ, будетъ уплачиваться сумма въ — долларовъ за кубическій ярдъ, въ каковую сумму входятъ: стоймость всѣхъ матеріаловъ, инструментовъ и работы по сказанному песчаному заполненію, и удаленіе излишней земли съ мѣста работъ.

Слѣдуетъ стараться, чтобы труба была бы хорошо поддержана по всей своей длинѣ. Земляная засыпка надъ трубами также должна быть достаточно уплотнена и утрамбована, чтобы воспрепятствовать позднѣйшимъ осадкамъ и матеріалъ, употребляемый при этомъ, долженъ быть свободенъ отъ камней и осколковъ скалъ. Канавы всегда должно заполнять тѣмъ же матеріаломъ, который изъ нихъ именно и вырытъ, наблюдая только, чтобы онъ былъ надлежащаго качества, и необходимая дальность возки земли не превышала бы 500 футъ. За землю, позаимствованную и перевезенную съ разстоянія болѣе 500 футъ для заполненія канавъ (исключая того случая, когда канава вырыта въ скалѣ), платится, какъ за работы по насыпямъ, по цѣнамъ, указаннымъ ниже, въ отдѣлѣ седьмомъ *.

На улицахъ и дорогахъ характеръ ихъ поверхности, существовавшій передъ работами, долженъ быть возстановленъ такъ, чтобы во всѣхъ отношеніяхъ былъ одинаковъ съ первоначальнымъ, и въ смыслѣ матеріала и въ смыслѣ выполненія, и чтобы заслужилъ одобреніе наблюдающаго.

Тамъ, гдѣ канавы прорываются вдоль или поперекъ улицъ, вымощенныхъ гранитомъ или деревянными торцами, или же асфальтомъ, подрядчикъ обязанъ тщательнѣйше утрамбовать заполненіе канавы (на каждаго засыпщика канавы не менѣе какъ три трамбовщика) и временно возстановить мостовую, такъ чтобы сдѣлать улицу опять проѣзжею; окончательная же укладка мостовой будетъ въ этихъ случаяхъ дѣлаться самимъ городомъ.

Деревянный ящикъ или сводчатый колпакъ долженъ быть доставленъ и надѣтъ на каждую изъ задвижекъ, воздушныхъ кранов и пожарныхъ гидрантовъ и металлическія рамы и крышки должны быть надлежащимъ образомъ прикрѣплены къ нимъ. Эти ящики должны быть сдѣланы такой формы и размѣровъ, какъ на образцахъ, доставленныхъ подрядчикомъ и одобренныхъ наблюдателемъ: они должны быть изготовлены изъ здороваго, хорошо высушеннаго дубоваго лѣса (oak lumber); угóльные брусκи должны быть четырехъ-дюймовые, а боковая обшивка должна состоять изъ двухъ-дюймовыхъ планокъ, плотно пригнанныхъ одна къ другой и крѣпко приколоченныхъ гвоздями.

NB.—Въ добавленіе къ тому, что сказано здѣсь, прибавимъ объ укладкѣ еще одно замѣчаніе. Если линія кладется не горизонтально, а наклонно, то является болѣе удобнымъ начинать укладку трубъ снизу и затѣмъ идти вверхъ. При этомъ трубы легче удерживаются на мѣстѣ, заливать раструбы представляется болѣе удобнымъ и въ раструбахъ при заливкѣ не скопляется воздухъ, такъ какъ они обращены кверху открытымъ концомъ.

II. О просверливаніи трубъ подъ давленіемъ.

§ 52. Когда къ существующей магистрали является необходимымъ присоединить небольшую трубу и взять воду тамъ, гдѣ этого раньше не предполагалось, то приходится просверливать магистраль и прикрѣплять къ ней отвѣтвленіе. Если въ это время въ магистрали воды нѣтъ, то, конечно, просверливаніе и присоединеніе не представляютъ ничего особеннаго. Но если магистраль работаетъ и *наполнена водою* подъ напоромъ, тогда прямо сверлить нельзя, ибо будетъ брызгать вода и приходится прибѣгать къ особымъ приспособленіямъ. Именно, тогда надѣваютъ на магистраль хомутъ съ сѣдломъ, подобный показанному на фиг. 10—12 табл. 65 Атласа и ввертываютъ въ него спеціальный сверлильный аппаратъ, сущность котораго состоитъ въ томъ, что сверло проходитъ сквозь сальникъ, задерживающій воду, а затѣмъ проходитъ и сквозь кранъ или мимо заслонки, такъ что, послѣ сверленія, сверло можно приподнять выше крана или заслонки, закрыть ихъ и спокойно снять сверло, а затѣмъ, повернувши кранъ (или снявши совсѣмъ прочь заслонку какъ въ Англійскомъ аппаратѣ Тайлора), пустить воду въ боковую трубочку. Аппараты

---

* этого отдѣла здѣсь нѣтъ. *А. С.*

эти общеизвѣстны и описаніе ихъ имѣется въ каждомъ хорошемъ курсѣ водопроводнаго дѣла, такъ что здѣсь нѣтъ надобности на нихъ останавливаться.

Но эти аппараты хороши только тогда, когда требуется пріобщить къ магитрали отвѣтвленіе *малаго* діаметра. Если же требуется присоединить трубу значительнаго діаметра, то аппаратъ стоитъ очень дорого. Въ этомъ случаѣ можно прибѣгнуть къ инымъ пріемамъ. Одинъ любопытный примѣръ здѣсь и опишемъ. Это оригинальный способъ просверливанія трубы подъ давленіемъ и присоединенія къ ней отвѣтвленія, практикуемый инженеромъ G. S. Willams, въ Америкѣ, Detroit, Mich.; онъ показанъ на фиг. 10–12 табл. 65, и состоитъ въ слѣдующемъ.

Прилаживаютъ къ трубѣ спеціальное сѣдло, и обчерчиваютъ на трубѣ отверстіе, обыкновенно квадратное, здѣсь — со стороною квадрата въ 10 дюймовъ. Затѣмъ по окружности этого отверстія начинаютъ сверлить въ стѣнкѣ трубы одна за другою рядъ дыръ, имѣющихъ діаметръ около $^{7}/_{16}$ дюйма и расположенныхъ такъ, чтобы одна дыра своею окружностію касалась сосѣдней, или даже пересѣкала бы ее. Какъ только высверливается одна такая дыра, начиная съ первой, такъ сейчасъ же она забивается пробкой (напр. сосновымъ цилиндрикомъ). Во время сверленія сверло обертываютъ полотномъ. Когда всѣ дыры будутъ высверлены и запробочены, то сопротивленія этихъ пробокъ оказывается достаточно для поддержанія связи вырѣзаннаго куска съ трубою, при давленіяхъ въ трубѣ даже въ 3 атм. Послѣ этого надѣваютъ на трубу сѣдло и притягиваютъ его хомутами. Стыкъ сѣдла съ трубой дѣлаютъ герметичнымъ при помощи свинца и соединяютъ патрубокъ сѣдла съ боковымъ трубопроводомъ, который требуется присоединить къ нашему, и давленію изъ котораго даютъ подѣйствовать на мѣсто стыка сѣдла съ трубой, чтобы убѣдиться въ его герметичности. Когда эта герметичность будетъ достигнута, то сквозь короткую газовую трубку, ввернутую въ одну изъ двухъ бобышекъ, видимыхъ на верхней части сѣдла, вставляютъ стальной прутъ. Два-три легкихъ удара кувалдой—и обсверленная кругомъ квадратная часть стѣнки со всѣми своими пробками проваливается внутрь трубы, гдѣ и остается навсегда; прутъ же выбрасывается наружу давленіемъ воды, но немедленно въ газовую трубку забиваютъ деревянную пробку и обрѣзаютъ ее вровень съ концомъ трубки, навертываютъ на конецъ трубы крышечку—и дѣло кончено. Такъ какъ во время прошибанія обсверленнаго куска сѣдло и отвѣтвленіе бываютъ наполнены водою изъ боковой линіи, то ударъ при прорывѣ воды сквозь отверстіе бываетъ не особенно силенъ.

По этому способу въ 1893 и 1894 г. было произведено 25 соединеній 10-ти и 6-ти дюймовыхъ трубъ съ 42-хъ и 30-ти дюймовыми магистралями и всѣ были вполнѣ удачны, исключая лишь одного, но тамъ виновата была слишкомъ тяжелая кувалда, отъ удара которою былъ вышибленъ уголъ у обсверленнаго квадрата, а самъ квадратъ не выскочилъ. Послѣ этого случая стали дѣлать для вышибалки двѣ дыры и употреблять болѣе легкія кувалды—и все шло прекрасно.

Устройство соединенія по этому способу стоитъ приблизительно въ 10 разъ дешевле, чѣмъ по способу Смита *, если магистрали имѣютъ большой діаметръ. Чѣмъ онъ меньше, тѣмъ меньше выгода и при діаметрѣ магистрали менѣе 20 дюймовъ способъ Смита будетъ уже не дороже.

Одна изъ новыхъ конструкцій аппарата для просверливанія подъ давленіемъ описана въ журналѣ „The Practical Engineer“, 1904 г., 29 Апрѣля.

Слѣдуетъ указать, что не всегда работа аппаратовъ, просверливающихъ подъ давленіемъ, бываетъ удачна. Такъ напр., Американскій инженеръ Wm. R. Hill имѣлъ много непріятностей при пользованіи такими аппаратами на водопроводѣ съ высокимъ давленіемъ воды (95 фунтовъ на □ дюймъ). Онъ принужденъ былъ совершенно бросить аппараты и производить присоединеніе отвѣтвленій не подъ напоромъ, а выпустивши воду изъ магистрали. Но, вмѣсто обычно принятаго въ такихъ случаяхъ пріема, состоящаго въ томъ, что изъ трубы вырѣзаютъ кусокъ и вставляютъ въ нее тройникъ, инж. Hill нашелъ болѣе быстрый и дешевый пріемъ **, состоящій въ томъ, что трубу совершенно не рѣжутъ, а надѣваютъ на нее тройникъ такого большого діаметра, что онъ охватываетъ трубу какъ обычная двойная муфта и герметичность достигается, какъ и при муфтѣ, свинцовой заливкой. Тройникъ разрѣзанъ по діаметральной плоскости и свертывается болтами. Подробнѣе объ этомъ см. въ журналѣ „Engineering News“, 1896 годъ, Августъ 27 и Сентябрь 17.

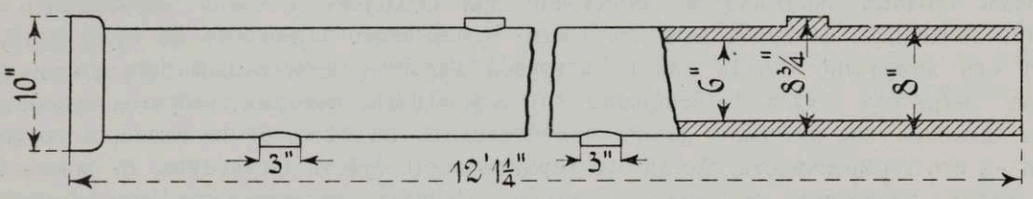
---

* Краткое описаніе и рисунокъ аппарата Смита можно найти въ журналѣ „Engineering“ за 1903 г., 21 Августа. Этотъ аппаратъ служитъ спеціально для присоединенія къ магистралямъ (подъ напоромъ) отвѣтвленій *большого* діаметра. Наиболѣе крупнымъ примѣромъ является выполненное въ Америкѣ при помощи его присоединеніе 36-дюймового отвѣтвленія къ 48-дюймовой магистрали. Отверстіе въ магистрали прорѣзается въ аппаратѣ Смита при помощи трубчатаго рѣзца надлежащаго діаметра (см. рисунокъ въ указанномъ журналѣ).

** который, впрочемъ, былъ еще въ 1876 году примѣненъ инж. H. Bridge на водопроводѣ г. Detroit.

Около 10 лѣтъ тому назадъ Американцы, со свойственною имъ смѣлостью и практичностію, придумали такой аппаратъ, посредствомъ котораго они ухитряются перерѣзать магистраль, находящуюся подъ напоромъ, и *вставлять въ нее задвижку* (приспособленіе, позволяющее останавливать притокъ жидкости) *не прерывая водоснабженія*. Суть дѣла опять состоитъ въ употребленіи особой оболочки, которая надѣвается на трубу и внутри которой помѣщена подлежащая вставкѣ задвижка, которою такъ искусно управляютъ при помощи рычаговъ, перерѣзавъ предварительно трубу, что она становится въ линію. Въ виду и безъ того сильно разросшагося объема настоящей главы, мы не входимъ въ подробности, отсылая интересующихся къ журналу „Engineering News“ за 1897 годъ, 28 Октября. Аппаратъ патентованъ впервые инженерами *Morris R. Sherrerd* и *D. W. French* и позволяетъ вставлять задвижки даже въ трубы съ діаметромъ болѣе 16 дюймовъ.

Для болѣе удобнаго присоединенія къ трубѣ (газо- или водопроводной) мелкихъ отвѣтвленій G. Richardson, of Bridport, Conn. дѣлаетъ заранѣе на трубѣ нѣсколько приливовъ или сосочковъ, какъ показано на чер. 117.



Чер. 117.

Машина или аппаратъ для перерѣзыванія трубъ на мѣстѣ или обрѣзанія концовъ ихъ описана въ журналѣ „Engineering News“ за 1893 годъ, 31 Августа и 1894 годъ, 29 Марта.

III). Порча трубопровода вслѣдствіе засоренія осадками или разрушенія трубъ электричествомъ.

§ 53. Изъ тѣхъ затрудненій, съ которыми приходится встрѣчаться инженеру при уходѣ за водопроводомъ, упомянемъ о двухъ, весьма серьезныхъ.

Вслѣдствіе постепеннаго отложенія въ трубѣ тѣхъ нечистотъ, которыя всегда имѣются въ водѣ, трубы внутри покрываются мало по мало слоемъ осадковъ и иногда осадки эти могутъ отлагаться такъ быстро, что черезъ нѣсколько лѣтъ труба окажется совершенно закупоренной. Въ подобныхъ случаяхъ приходится прибѣгать къ прочисткѣ трубъ при помощи спеціальныхъ сложныхъ щетокъ съ ножами, сгребалками и пр.

Наиболѣе знаменито въ литературѣ засореніе трубъ водопровода *Torquay*, въ Англіи. Очистка трубъ и скребки подробно описаны въ техническихъ журналахъ, напр. въ журналѣ „Engineering News“ 1900 г., 30 Августа; „Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers“, 1899 г. Октябрь; „Engineering“, 1899 г., 3 Ноября.

Въ журналѣ „Engineering News“ за 1905 г., 5 Января, описаны (съ *детальнымъ* чертежомъ) автоматическіе скребки, употребленные на водопроводѣ г. Мельбурнъ въ Австраліи; тутъ же имѣется и подробная дальнѣйшая литература по этому вопросу.

О разрушеніи лежащихъ подъ землею водо- и газопроводныхъ чугунныхъ и желѣзныхъ трубъ токами электрическихъ трамваевъ и, вообще, пробѣгающими рядомъ съ трубопроводомъ сильными токами имѣется весьма обширная литература; въ Россіи въ послѣднее время этимъ вопросомъ тоже занимались, и найти всѣ подробности по этому вопросу очень не трудно, почему въ перечисленіе литературы я здѣсь входить не буду.

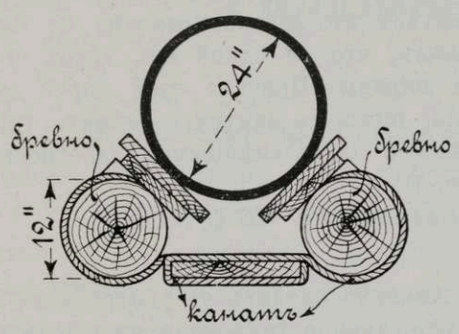
IV). Укладка подводной линіи трубъ.

§ 54. Въ дополненіе къ тѣмъ описаніямъ способовъ укладки подводныхъ линій трубъ, которыя приведены раньше, даемъ здѣсь еще одинъ примѣръ, такъ какъ способъ, примѣненный здѣсь, значительно отличается отъ описанныхъ раньше, и такъ какъ, вообще, знакомство съ различными способами такой трудной работы, какъ укладка подводной линіи, имѣетъ весьма большой технической интересъ.

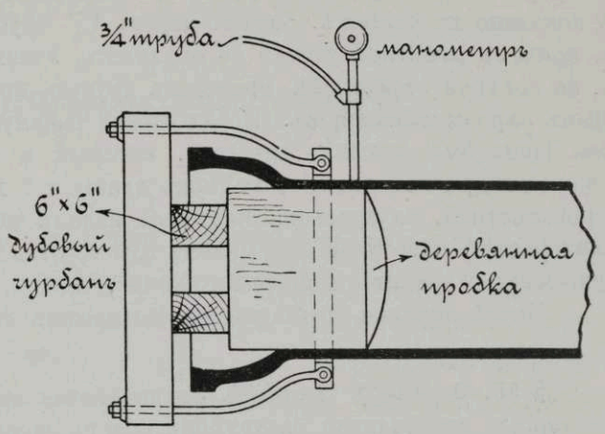
Въ 1901 году въ городѣ Сѣверная Тонаванда (Сѣв. Амер. С. Ш., штатъ Нью-Іоркъ) понадобилось проложить поперекъ гавани новую линію водопроводныхъ трубъ, которую и пришлось класть подъ водою. Ширина гавани въ этомъ мѣстѣ около 400 футъ, а длина линіи гораздо болѣе, такъ какъ она идетъ наискось, подъ угломъ около 45° къ направленію береговъ. Діаметръ трубъ—

24 дюйма. Такъ какъ въ это время гавань землечерпаніемъ вообще углублялась до глубины въ 18 футъ ниже средняго уровня рѣки, и предполагалось углубить ее впослѣдствіи и еще болѣе, то пришлось класть новую линію трубъ на глубинѣ въ 23 фута подъ уровнемъ воды и для этой цѣли пришлось положить трубопроводъ въ глубокую канаву, отъ 8 до 9 футовъ глубиною, которую пришлось вычерпать въ днѣ гавани (эта канава и показана на чер. 120).

Для укладки трубъ было построено двѣ шаланды или понтона, одинъ — съ краномъ Велерта („Деррикъ-кранъ", по Англійски) для спуска, а другой—для перевозки трубъ. Первый имѣлъ размѣры: длина—51 футъ, ширина—17,5 футъ и высота 5 футъ; второй—48 футъ, 16 футъ и 3 фута. Затѣмъ изъ дерева было приготовлено два длинныхъ бруса, каждый около 70 футъ въ длину и діаметромъ—15 дюймовъ на толстомъ концѣ и 8 на тонкомъ. Соединивши эти два бруса параллельно и опустивши ихъ съ любой шаланды въ воду, получали наклонную плоскость, которая волочилась по дну рѣки и оканчивалась у понтона; по этой наклонной плоскости и спускали въ воду трубы. Для того, чтобы об-

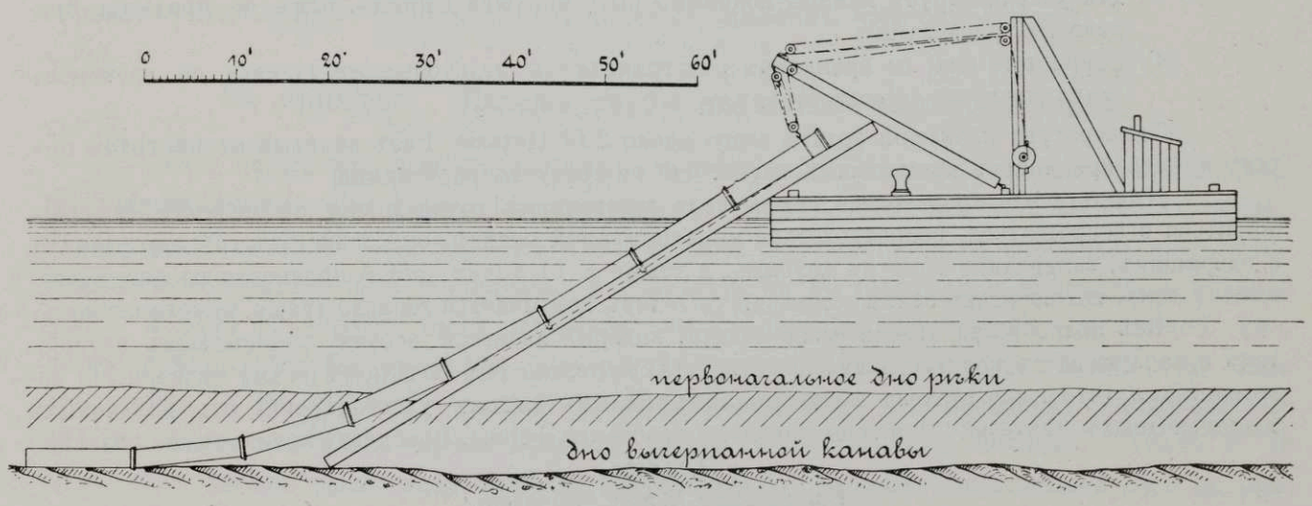


Чер. 118.



Чер. 119.

легчить разборку этой наклонной плоскости (прежній опытъ показалъ, что свернутые на болтахъ и сколоченные гвоздями брусья разбирать очень трудно), поступили слѣдующимъ образомъ. Поставленные на разстояніи около 3 футъ другъ отъ друга брусья только на самомъ верху были скрѣплены и удержаны въ такомъ разстояніи другъ отъ друга при помощи короткаго поперечнаго бруска и болтовъ съ гвоздями; на всемъ же остальномъ протяженіи (подъ водою) брусья держались



Чер. 120.

на должномъ разстояніи другъ отъ друга посредствомъ деревянныхъ планокъ около 18 дюймовъ шириною, которыя попросту привязывались къ бревнамъ веревкой, чер. 118. Къ каждому бревну были прикрѣплены сначала двухъ-дюймовыя сосновыя планки, а сверхъ нихъ — трехъ-дюймовыя дубовыя; онѣ были помѣщены подъ угломъ 45° къ горизонту, образуя какъ бы желобъ безъ дна, съ угломъ при вершинѣ въ 90° градусовъ, какъ это видно на поперечномъ разрѣзѣ, чер. 118, гдѣ показана и лежащая въ этомъ желобѣ труба.

Всѣ трубы имѣли раструбы не обыкновенные, а *съ шаровыми сочлененіями*, какъ то видно на чер. 119. Работа укладки трубъ производилась такимъ образомъ. Трубу за трубой клали на наклонную плоскость, опущенную съ крановой шаланды въ воду, какъ видно на чер. 120, заливали свинцомъ нижній конецъ новой трубы, вставленный въ раструбъ предыдущей, который еще оставался надъ водою, затѣмъ спускали эту новую трубу въ воду, для чего шаланду просто от-

буксировывали постепенно далѣе отъ мѣста начала работы; верхній конецъ послѣдней трубы былъ зацѣпленъ при помощи цѣпи за крюкъ полиспаста, свѣшивавшагося съ крана. Когда помощію канатовъ и кабестана, видимаго въ передней части шаланды, отбуксировывали шаланду вмѣстѣ съ наклонною плоскостію, и вмѣстѣ съ тѣмъ отпускали полиспастъ, то наблюдателямъ съ шаланды просто казалось, что труба сползаетъ внизъ по бревнамъ, такъ какъ они наблюдали только это *относительное* движеніе, не замѣчая отхода самой шаланды съ наклонною плоскостію *. Такъ постепенно была перейдена вся гавань и уложена вся линія. Въ день успѣвали класть, смотря по обстоятельствамъ, отъ двухъ до восьми трубъ.

По окончаніи работы укладки былъ посланъ для разборки наклонной плоскости водолазъ, который попросту перерѣзалъ веревки наклонной плоскости и бревна всплыли на поверхность.

Послѣ этого была произведена проба всей подводной части линіи; для этого концы ея забили деревянными пробками, (одна изъ которыхъ показана на чер. 119), которыя закрѣпили какъ показано на чертежѣ. Затѣмъ черезъ $^3/_4''$ трубу нагнетали воду и довели давленіе до 58 фунтовъ, причемъ замѣтной утечки не оказалось. Утечка измѣрялась водомѣромъ. Городской инженеръ, не довѣряя этой пробѣ, произвелъ другую, придѣлавши $3^1/_2$-дюймовую трубу и работая пожарнымъ паровымъ насосомъ. Но къ ужасу своему онъ увидѣлъ, что давленіе *совсѣмъ не подымалось*. Тогда былъ посланъ водолазъ, который и обнаружилъ, что въ одной изъ трубъ п р о д р а н о о т в е р с т і е около 4 дюймовъ длины и 2 дюймовъ ширины. Причина этой порчи осталась неизвѣстной, но пришлось подымать назадъ часть линіи, держа ее навѣсу и смѣнить трубу. Эту интересную работу не описываемъ здѣсь, отсылая за ней и за дальнѣйшими подробностями къ оригиналу (журналъ „Engineering News“, 1904 г., Августъ 4).

Послѣ починки трубопроводъ выдержалъ исправно давленіе въ 100 фунтовъ.

---

§ 55. О ледитѣ (*Leadite*). За послѣднее время въ Америкѣ входитъ въ употребленіе новый матеріалъ для заливки раструбовъ водопроводныхъ трубъ, именно такъ называемый ледитъ. Это спеціальный патентованный сплавъ, который заливается въ расплавленномъ видѣ въ раструбы, подобно свинцу, но обладаетъ противъ свинца слѣдующими преимуществами:

1). Ледитъ гораздо легче (въ четыре раза) нежели свинецъ;
2). Стоймость заливки ледитомъ менѣе, нежели свинцомъ;
3). *Ледитъ послѣ заливки не требуетъ расчеканки*; это очень важное преимущество, такъ какъ сберегается работа расчеканки, является возможнымъ облегчить раструбы, толщина которыхъ расчитана, главнымъ образомъ на расчеканку, и затѣмъ для укладки трубъ канавы возможно рыть меньшей ширины, разъ не придется производить расчеканку.
4). Свинцовые швы со временемъ разстраиваются; ледитовыя же заливки со временемъ становятся все герметичнѣе.

Температура плавленія ледита всего около 200° Цельзія. Разъ залитый въ раструбъ онъ такъ крѣпко прилипаетъ къ стѣнкамъ трубъ, что не требуетъ расчеканки.

Изобрѣтатели производили опыты надъ ледитомъ съ точки зрѣнія способности его расширяться и сокращаться, сопротивляться неравномѣрной осадкѣ, окисленію, электролизу, ударамъ и вибраціямъ, замерзанію воды въ трубахъ, а также и съ точки зрѣнія прочности вообще и пришли къ тому, что во всѣхъ этихъ отношеніяхъ ледитъ оказывается гораздо лучше, нежели свинецъ.

Всѣ подробности относительно ледита, который является весьма любопытнымъ матеріаломъ и заслуживаетъ полнаго вниманія, если дѣйствительно онъ обладаетъ всѣми названными достоинствами (что изобрѣтатели подтверждаютъ цѣлымъ рядомъ удостовѣреній отъ различныхъ водопроводныхъ дѣятелей **), можно найти въ проспектѣ фирмы. Проспектъ носитъ такое названіе:

Leadite
For Jointing Water Mains etc.
The Leadite Company of America
Heed Building, 1215 Filbert Street, Philadelphia, Pa., U. S. A.

---

* Слѣдуетъ сказать здѣсь, что какъ описаніе этой операціи, такъ и описаніе н а ч а л а работы, когда опускается въ воду первая труба, и какъ она сочленяется съ береговою, въ текстѣ чрезвычайно неясно и потому я ограничиваюсь здѣсь лишь самымъ существеннымъ.

** Въ журналѣ „Engineering News“ за 1908 г. имѣются указанія на то, что на засѣданіяхъ двухъ Обществъ, именно: на годичномъ собраніи Водопроводнаго Общества Новой Англіи и на годичномъ собраніи Американскаго Водопроводнаго Общества членами ихъ, имѣвшими случай употреблять ледитъ, были даны о немъ самые лучшіе отзывы, и даже для трубъ, лежащихъ подъ желѣзнодорожными насыпями, онъ оказался безусловно лучше свинца: свинцовыя заливки приходится подчеканивать каждый мѣсяцъ, а ледитовые держатся безъ подчеканки очень долго. Подтвердилась также и меньшая стоймость ледитовыхъ соединеній и бо́льшая быстрота устройства ихъ, нежели соединеній со свинцомъ.

ГЛАВА VII.

Поломки чугунныхъ трубъ.

§ 56. Такъ какъ примѣры изъ практики, изъ дѣйствительности, въ высшей степени поучительны, то я рѣшилъ въ настоящемъ сочиненіи привести довольно большое число примѣровъ такихъ „*больныхъ*“ трубъ. Примѣры почти исключительно относятся (для чугунныхъ, желѣзныхъ и мѣдныхъ трубъ) къ паропроводамъ, такъ какъ именно въ этой области имѣется въ литературѣ богатый матеріалъ. Именно, въ Англіи существуетъ прекрасное обыкновеніе — печатать еженедѣльно результаты правительственныхъ разслѣдованій всѣхъ случаевъ взрывовъ и поломокъ паровыхъ котловъ, и такъ какъ подъ понятіе парового котла подведены и паропроводы, то въ Англійскихъ журналахъ можно найти массу примѣровъ въ высшей степени интересныхъ и поучительныхъ случаевъ поломокъ паропроводовъ. Наиболѣе интересные случаи я и привожу въ книгѣ. Въ этой главѣ говорится только о чугунныхъ трубахъ, такъ какъ чугунные паропроводы, къ сожалѣнію, еще въ большомъ ходу въ Англіи (во многихъ другихъ странахъ, какъ видно будетъ далѣе, таковые закономъ уже запрещены).

1-й примѣръ. Изломъ трубы вслѣдствіе водяного удара.

При пускѣ въ ходъ подъемныхъ и насосныхъ машинъ въ шахтѣ St. Helens, получавшихъ паръ отъ двухъ Ланкаширскихъ котловъ, кочегаръ въ 5 час. утра открылъ паропускной вентиль у котла; такъ какъ за ночь въ паропроводѣ собралась вода, а надежныхъ устройствъ для непрерывнаго отведенія ея не было, то и произошелъ водяной ударъ и одна изъ трубъ была изломана, но къ счастію безъ увѣчія для людей. Толщина стѣнокъ трубы оказалась не вездѣ одинаковой: на одномъ концѣ она была $1^1/_4$ дюйма, а на другомъ — только $^3/_4$ дюйма; это тоже способствовало поломкѣ. Не смотря на то, что такіе случаи водяного удара насчитываются сотнями, однако и до сихъ поръ весьма часто встрѣчаются паропроводы, подобные описанному, гдѣ не принято никакихъ надежныхъ мѣръ для непрерывнаго удаленія воды изъ паропровода. Если такихъ устройствъ нѣтъ, и есть подозрѣніе, а тѣмъ болѣе—увѣренность въ томъ, что въ паропроводѣ скопилось много воды, то единственный надежный способъ устранить опасность — это спустить въ трубахъ давленіе и не подымать его вновь до тѣхъ поръ, пока такъ или иначе не будетъ изъ нихъ удалена вся вода (1898 годъ, Англія).

2-й примѣръ. Поломка питательной трубы.

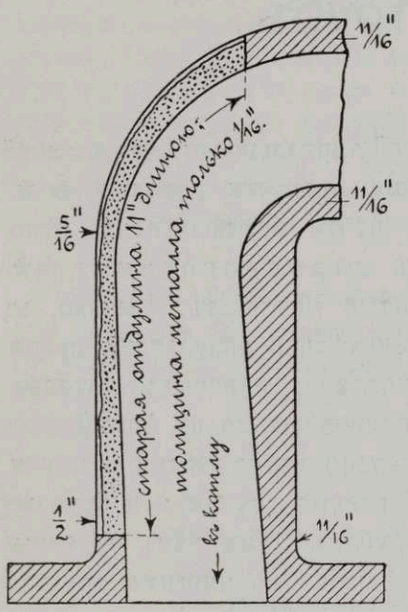
Съ грохотомъ, подобнымъ пушечному выстрѣлу, сломалась труба между питательнымъ клапаномъ и водянымъ барабаномъ котла Бабкока и Вилькокса. Давленіе въ котлѣ — 200 фунтовъ. При изслѣдованіи оказалось, что вслѣдствіе сноса стержня при формовкѣ толщина стѣнокъ трубы была мѣстами *вдвое менѣе проектированной,* какъ

видно на чертежѣ 121 ($^{5}/_{16}$ и $^{1}/_{2}$ дюйма); мѣстами же чугунъ настолько пористъ и изъѣденъ раковинами, что фактическую толщину металла надо считать равной только $^{1}/_{16}$ дюйма! Къ счастію никто изъ людей не пострадалъ.

Этотъ случай показываетъ, что всѣ рѣшительно литыя трубы, подверженныя высокому давленію, *непремѣнно слѣдуетъ тщательнѣйшимъ образомъ осматривать и испытывать* передъ постановкой ихъ на мѣсто. Безъ этого всегда можно опасаться несчастій, подобныхъ описанному (1899 годъ, Англія).

3-й примѣръ. Поломка расширителя въ главномъ чугунномъ паропроводѣ.

Этотъ чрезвычайно сильный взрывъ, при которомъ былъ разрушенъ *весь трубопроводъ* между скользящимъ расширителемъ и главнымъ паропускнымъ вентилемъ, произошелъ на линіи паропровода изъ 14 Ланкаширскихъ котловъ.

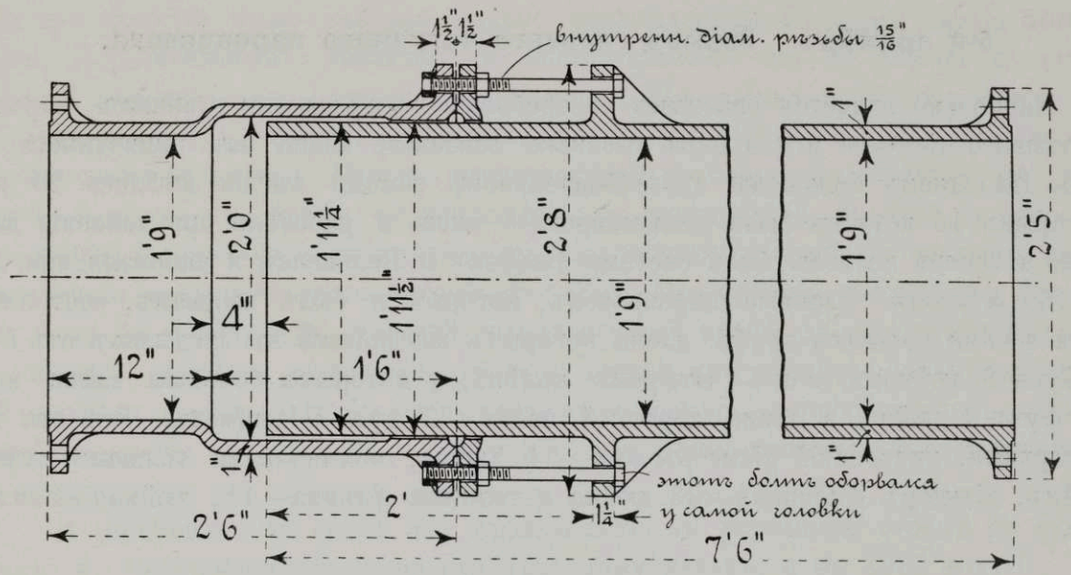


Чер. 121.

Паръ изъ 14 котловъ собирался въ сборную трубу 17 дюймовъ въ діаметрѣ, идущую вдоль котловъ и состоявшую изъ 15 частей прямыхъ чугунныхъ трубъ и изъ 13 расширителей, и изъ нея переходилъ въ главный паропроводъ, имѣвшій 21 дюймъ въ діаметрѣ и состоявшій изъ 6 частей чугунныхъ трубъ съ толщиною стѣнки въ 1 дюймъ. У каждаго котла имѣлся свой паропускной вентиль, а главная паропускная задвижка была устроена въ томъ мѣстѣ, гдѣ сборный паропроводъ соединялся съ главнымъ. У конца четвертой трубы главнаго паропровода (на разстояніи 37 футъ отъ вертикальной вѣтви трубы) былъ устроенъ чугунный расширитель, чер. 122 и для того, чтобы скользящая въ расширителѣ часть трубы не могла быть вырвана давленіемъ пара, было устроено два предохранительныхъ болта, какъ то видно на чер. 122. Внутренній діаметръ болта въ нарѣзкѣ равенъ $^{15}/_{16}$ дюйма и на всей длинѣ болты имѣютъ тоже этотъ діаметръ. Этими же болтами пользуются и для того, чтобы притянуть крышку сальника расширителя. За день до взрыва перемѣнили набивку въ этомъ расширителѣ; набивка была азбестовая. Вообще, эту набивку мѣняли черезъ промежутки времени отъ 9 до 12 мѣсяцевъ, и смѣна производилась втеченіи нѣсколькихъ лѣтъ одними и тѣми же рабочими. Набивка была изъ азбестоваго шнура, $^{3}/_{4}$ дюйма діаметромъ, и въ сальникъ вводилось четыре завитка или оборота ея. Рабочіе постоянно видѣли, что болты сдѣланы слишкомъ короткими, такъ что одна гайка (нижняя на чертежѣ) навертывалась на болтъ только на трехъ четвертяхъ своей высоты, а въ другую гайку (верхняя на чертежѣ) болтъ ввертывался только на длину всего двухъ завитковъ рѣзьбы. При котлахъ былъ котельный инспекторъ фирмы, осматривавшій (?) трубы снаружи ежедневно, такъ какъ паропроводъ былъ въ его завѣдываніи; въ присутствіи его же трубы были опробованы гидравлическимъ давленіемъ сейчасъ же послѣ постройки, въ 1887 году. Но, повидимому, инспекторъ не замѣтилъ (?!) того, что болты слишкомъ коротки и не могутъ, въ такомъ видѣ, выдержать давленія въ трубахъ, которое составляло 75 фунтовъ на □ дюймъ, рабочіе же не заявляли ему о томъ, что болты слишкомъ коротки, такъ какъ не считали, что это грозитъ опасностію (?). Какъ инженеръ завода, такъ и инспекторъ заявили, что они знали о недостаточной длинѣ болтовъ и *„какъ разъ собирались замѣнить ихъ болѣе длинными“* *. Но какъ разъ пока они собирались и произошелъ взрывъ!

Въ понедѣльникъ 19 сентября 1899 года въ 6 часовъ утра въ котлахъ былъ поднятъ паръ, и повидимому все шло хорошо, какъ вдругъ въ 9 часовъ 20 минутъ внезапно произошелъ страшный взрывъ и вся часть паропровода между расширителемъ

и главнымъ паропускнымъ вентилемъ была разрушена. Трубы были отброшены къ котламъ; вертикальная часть трубопровода была сломана у вентиля; сборный трубопроводъ также былъ изломанъ. Вслѣдствіе этой поломки остановился заводъ и 330 человѣкъ остались безъ работы. При осмотрѣ оказалось, что болтъ, который входилъ въ



Чер. 122.

гайку только на два завитка, былъ вырванъ изъ этой гайки и что другой болтъ разорвался у самой головки.

Размѣры болтовъ слѣдуетъ признать слишкомъ слабыми и для безопасности настоящаго устройства слѣдовало бы укрѣпить неподвижно оба конца горизонтальной части трубопровода и избавить такимъ образомъ болты отъ передачи на нихъ всей продольной вырывающей силы, которая, какъ не трудно подсчитать, вызываетъ въ болтахъ черезмѣрное напряженіе, независимо даже отъ того, что болты были слишкомъ коротки; эта же короткость окончательно испортила дѣла и можно только удивляться, какъ инженеры не обратили на это должнаго вниманія.

4-й примѣръ. Изломъ трубы отъ водяного удара.

Насколько вообще опасенъ водяной ударъ и какія пустыя на видъ причины могутъ его вызвать—показываетъ слѣдующій случай. 9 Апрѣля 1899 года былъ пущенъ впервые въ работу новый паропроводъ отъ шести Галловеевскихъ котловъ къ паровой машинѣ и насосамъ. Длина паропровода — 148 футъ, діаметръ — 8 дюймовъ, состоитъ изъ частей въ 9 футъ 1 дюймъ длиною. Давленіе пара — 60 фунтовъ; приспособленій для возможности расширенія—никакихъ. На нѣкоторой части длины паропроводъ положенъ съ уклономъ въ $^1/_{144}$; для спуска конденсаціонной воды имѣется кранъ. Паропроводъ работалъ всего три дня; въ послѣднюю ночь спускной для воды кранъ былъ немного пріоткрытъ втеченіи всей ночи; въ 6 часовъ утра слесарь, видя что изъ крана идетъ много воды, открылъ его полностію. И этого оказалось достаточно для того, чтобы трубы сейчасъ же взорвало! Двѣ трубы лопнули по всей окружности, у корня флянца, а часть трубопровода около 70 футъ длиною, закрытая на концѣ слѣпымъ флянцемъ, была отодвинута примѣрно на 10 дюймовъ. Явленіе, повидимому, надо объяснить такъ. Въ наклонной части трубопровода собралась вода, такъ какъ кранъ былъ пріоткрытъ только слегка; когда же кранъ открыли полностію и уровень воды

---

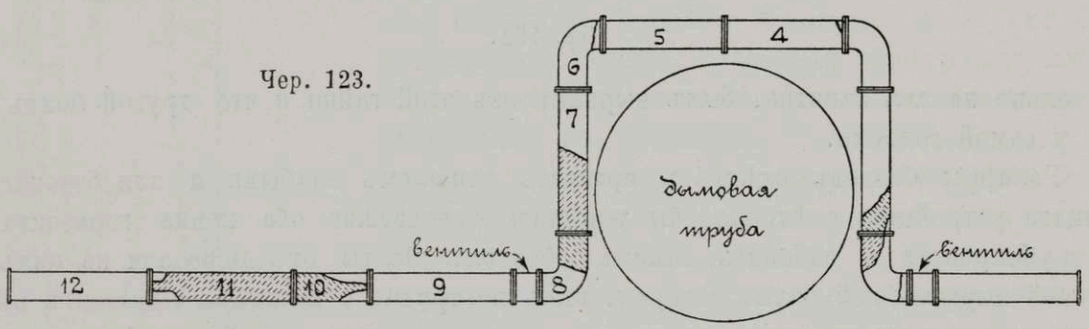
* Вся эта исторія такъ *мила* и *наивна*, что можно подумать, будто дѣло происходитъ гдѣ нибудь въ глуши Россіи, да и то 50 лѣтъ тому назадъ, а не въ самой передовой (или по крайней мѣрѣ мнящей себя таковою) по техникѣ странѣ—Англіи, и притомъ на порогѣ 20 столѣтія.

понизился, то сразу обнажилась большая свободная поверхность холодной воды, которая попала подъ дѣйствіе свѣжаго пара, произошла быстрая конденсація, въ образовавшуюся пустоту съ силою устремился паръ и, погнавши передъ собою воду, произвелъ обычный водяной ударъ съ извѣстными его послѣдствіями (Англія).

5-й примѣръ. Взрывъ главнаго чугуннаго паропровода.

Насколько является опаснымъ употребленіе чугуна для главныхъ паропроводовъ большого діаметра и для пара высокаго давленія, видно изъ приводимаго здѣсь примѣра. На одномъ большомъ сталедѣлательномъ заводѣ Англіи имѣлось 24 котла, изъ которыхъ 16 котловъ были Ланкаширскаго типа, и работали при давленіи въ 100 фунтовъ, а восемь котловъ были системы Бабкокъ и Вилькоксъ и работали при давленіи въ 160 фунтовъ. Главный паропроводъ, который и былъ взорванъ, состоялъ изъ двадцати восьми прямыхъ трубъ, длина которыхъ измѣнялась въ предѣлахъ отъ 6 футъ до 11 футъ 8 дюймовъ, и изъ четырехъ колѣнъ, у которыхъ бо́льшая длина колѣна была 4 фута 3 дюйма, а длина короткой части — 2 фута 9 дюймовъ. Всѣ эти трубы были чугунныя, внутренній діаметръ ихъ—24 дюйма, номинальная толщина стѣнки— $1^1/_4$ дюймъ, діаметръ флянцевъ—33 дюйма и толщина флянца—$1^3/_4$ дюйма; на каждомъ

Чер. 123.



флянцѣ имѣется 16 болтовыхъ дыръ $1^1/_4$ дюймъ діаметромъ. Полная длина трубопровода, измѣренная по оси трубъ, равна 311 футамъ. Секція трубъ, ведущая отъ восьми котловъ Бабкокъ и Вилькоксъ, имѣла редукціонный клапанъ, который позволялъ соединять доставляемый ими паръ съ паромъ, доставляемымъ шестнадцатію Ланкаширскими котлами; во время взрыва клапанъ былъ закрытъ и главный паропроводъ получалъ паръ лишь изъ восьми котловъ Бабкокъ и Вилькоксъ, работавшихъ при давленіи пара въ 160 фунтовъ. Весь трубопроводъ былъ расположенъ горизонтально и главный трубопроводъ былъ положенъ на роликахъ, которые позволяли ему свободно расширяться; поперечныя трубы, которыя вели къ нему паръ изъ Ланкаширскихъ котловъ, были подвѣшены на подвѣскахъ, прикрѣпленныхъ къ потолку. Не смотря на то, что длина трубопровода (не считая той его части, которая обходитъ вокругъ дымовой трубы) весьма значительна, *не было принято никакихъ дальнѣйшихъ мѣръ для того, чтобы эта большая длина могла бы свободно расширяться.* На одномъ концѣ главнаго трубопровода было для спуска воды устроено двѣ дренажныхъ трубочки, каждая 1 дюймъ въ діаметрѣ, а на другомъ концѣ имѣлась дренажная трубочка въ 2 дюйма. Кромѣ того, въ нижней части каждаго колѣна была устроена дренажная трубочка въ $^3/_4$ дюйма діаметромъ, и повидимому, всѣ эти спускныя трубки были открыты во время взрыва, такъ что приписать этотъ послѣдній дѣйствію водяного удара не представляется возможнымъ. Трубы были совсѣмъ новыя, и поставлены только за годъ до взрыва, а подъ паромъ работали не болѣе 9 мѣсяцевъ. Въ день взрыва трубопроводъ былъ пущенъ въ работу въ 6 часовъ утра и работалъ до 9 часовъ 10 минутъ. Давленіе пара въ это время было около 120 фунтовъ, а передъ самымъ взрывомъ дошло до 150 фунтовъ. Повидимому, въ это время не трогали ни одного изъ паропускныхъ вентилей. Около

9 часовъ 30 минутъ произошелъ страшный взрывъ, который разорвалъ *восемь* отдѣльныхъ частей трубопровода, причемъ были повреждены шесть котельныхъ паропускныхъ вентилей. Нѣкоторые куски изломанныхъ трубъ улетѣли болѣе чѣмъ за 100 ярдовъ, и даже не всѣ были потомъ найдены. Изломанныя при взрывѣ трубы показаны на чер. 123 и отмѣчены цифрами отъ 1 до 11. Часть трубопровода 11 осталась на мѣстѣ, у части 12, но при осмотрѣ была найдена сильно поврежденною на длинѣ около 500 миллиметровъ. Поразительнымъ является то обстоятельство, что не смотря на огромный, необычный для чугуннаго паропровода діаметръ (24 дюйма) и на то высокое давленіе пара, подъ которымъ эти трубы работали, трубы **не** *были предварительно опробованы гидравлическимъ давленіемъ*! Заводъ, изготовлявшій трубопроводъ, заявилъ, что ему было извѣстно о томъ, что трубы назначаются для паропровода, но что „у него, завода, **не въ обычаѣ**—пробовать всѣ трубы гидравлическимъ давленіемъ, исключая развѣ того случая, когда заказчикъ этого потребуетъ“ (???). Между тѣмъ несомнѣнно, что если бы трубы были бы подвержены обычной гидравлической пробѣ, да еще не менѣе чѣмъ двойнымъ противъ рабочаго давленіемъ, то всѣ пороки ихъ отливки обнаружились бы при такой пробѣ и трубы были бы забракованы, а взрывъ — предупрежденъ. Постановка трубъ безъ пробы является съ моральной точки зрѣнія тяжкимъ преступленіемъ со стороны завода.

И (прибавлю отъ себя) это происходитъ въ передовой странѣ по культурѣ и техникѣ, въ Великобританіи, и не сто лѣтъ тому назадъ, а въ 1902 году!!

6-й примѣръ. Взрывъ чугунныхъ переходныхъ частей паропровода для перегрѣтаго пара.

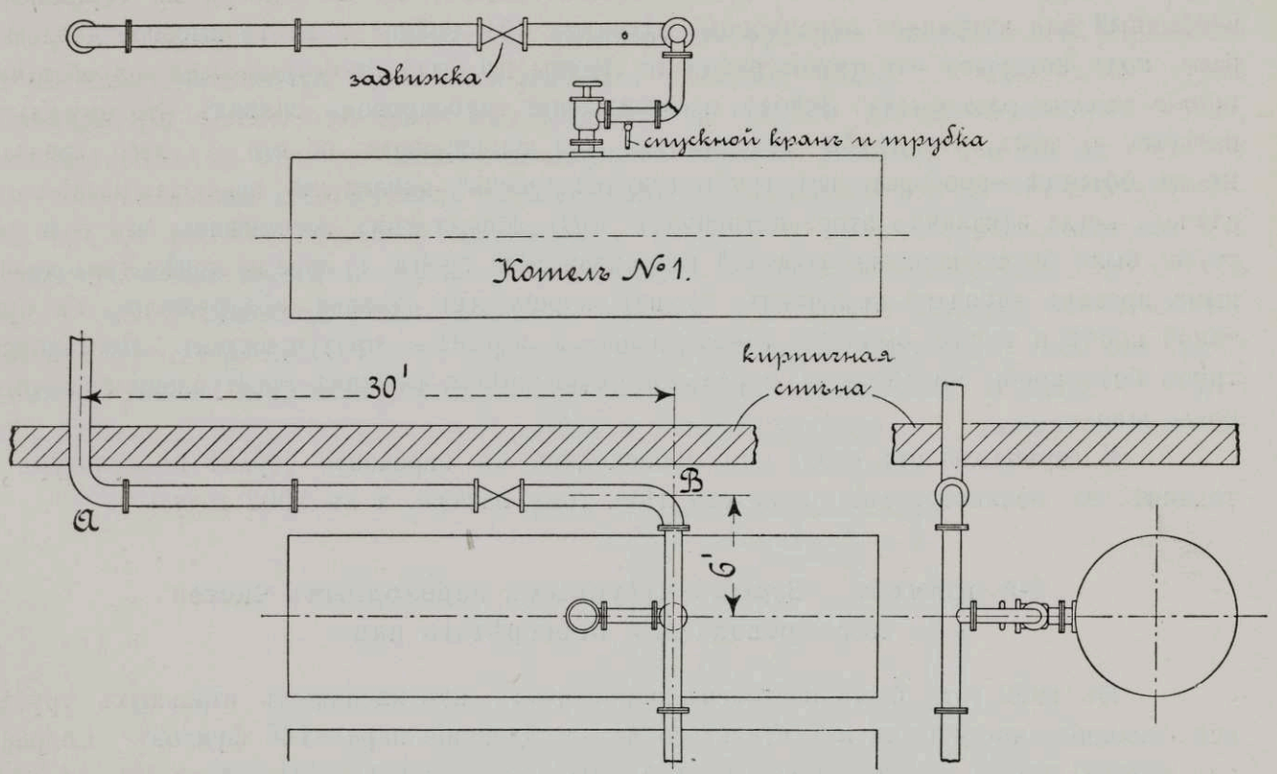
Въ 1892 году былъ построенъ паропроводъ изъ клепаныхъ стальныхъ трубъ; всѣ фасонныя части были изъ стального литья. Давленіе пара—140 фунтовъ. Сборная изъ котловъ труба имѣетъ діаметръ въ 18 дюймовъ и переходитъ затѣмъ въ 16-дюймовую, а эта, для прохода подъ улицей—въ 12-дюймовую. Въ 1894 году перемѣнился составъ инженеровъ на заводѣ и, неизвѣстно зачѣмъ, стальная литая коническая переходная часть, служившая для перехода отъ 16-дюймоваго діаметра къ 12-дюймовому, была замѣнена—*чугунною*! Она была опробована на 300 фунтовъ давленія. Въ концѣ 1900 года *были поставлены перегрѣватели*, доводящіе температуру пара до 300° Цельзія, и при этомъ были вставлены въ трубы, ведущія изъ каждаго котла въ сборную трубу (всего 6 котловъ), чугунные вентили и чугунныя соединительныя трубы. *Черезъ мѣсяцъ* чугунную переходную часть взорвало; инженеръ, стоявшій на ней, только что сошелъ и остался цѣлъ, кочегара обожгло на смерть. Всѣ вентили поломало. Одна изъ причинъ взрыва—неравномѣрная толщина стѣнки переходной части, которая мѣнялась отъ 0,67 дюйма до 1 дюйма на широкомъ концѣ и отъ 1 дюйма до $1^1/_2$ — на узкомъ. Кромѣ того, при переходѣ трубы въ флянецъ *совершенно не было сдѣлано закругленія*, а прямо переходъ былъ рѣзкимъ угломъ. Главное же, конечно, то, что при давленіи въ 10 атмосферъ, при перегрѣвѣ до 300°, и при діаметрѣ въ 400mm были поставлены **чугунныя** трубы, да еще въ перемежку со стальными клепаными. Поэтому трубу и взорвало сейчасъ же (черезъ мѣсяцъ) послѣ постановки перегрѣвателей, а до этого чугунъ все таки работалъ 6 лѣтъ (Англія).

Случай этотъ въ высшей степени назидателенъ и поучителенъ.

7-й примѣръ. Взрывъ вслѣдствіе стѣсненнаго расширенія.

Изъ четырехъ Ланкаширскихъ котловъ (крайній и начало второго видны на чертежѣ 124) паръ собирался въ главный паропроводъ; отъ паропускного вентиля каждаго котла къ паропроводу шло колѣно діаметромъ въ 7 дюймовъ и длиною около 3 футъ. Толщина стѣнки его мѣняется отъ $^3/_4$ до $^5/_8$ дюйма, какъ оказалось послѣ

излома. Въ одинъ прекрасный день колѣно это у перваго крайняго котла оказалось изломаннымъ. Причина—очень простая. Какъ видно на чертежѣ, главный паропроводъ при *A накрѣпко вдѣланъ въ стѣну* и, слѣдовательно, часть трубопровода *AB не можетъ свободно расширяться*, такъ какъ конецъ ея *A* наглухо защемленъ въ стѣнѣ. Такимъ образомъ, все расширеніе этой части могло происходить только по направленію отъ *A* къ *B*, а при этомъ приходилось изгибать чугунное упомянутое колѣно, ведущее къ



Чер. 124.

паропускному вентилю. Нѣтъ ничего удивительнаго, что при этомъ такой хрупкій матеріалъ какъ чугунъ не выдержалъ повторныхъ нагрузокъ и наконецъ, сломался (Англія, 1903 г.).

8-й и 9-й примѣры. Водяной ударъ.

Упомянемъ вкратцѣ о двухъ случаяхъ водяного удара. Первый произошелъ вслѣдствіе быстраго открытія вентиля неопытнымъ помощникомъ машиниста. Трубы изолированы не были, помѣщались на сквознякѣ и поэтому въ нихъ скоплялась масса воды. Трубки отъ дренажныхъ крановъ выведены въ канаву, такъ что нельзя видѣть, идетъ изъ нихъ конденсаціонная вода или нѣтъ. Діаметръ трубъ—6 дюймовъ. Вертикальная вѣтвь трубы была разнесена въ куски.

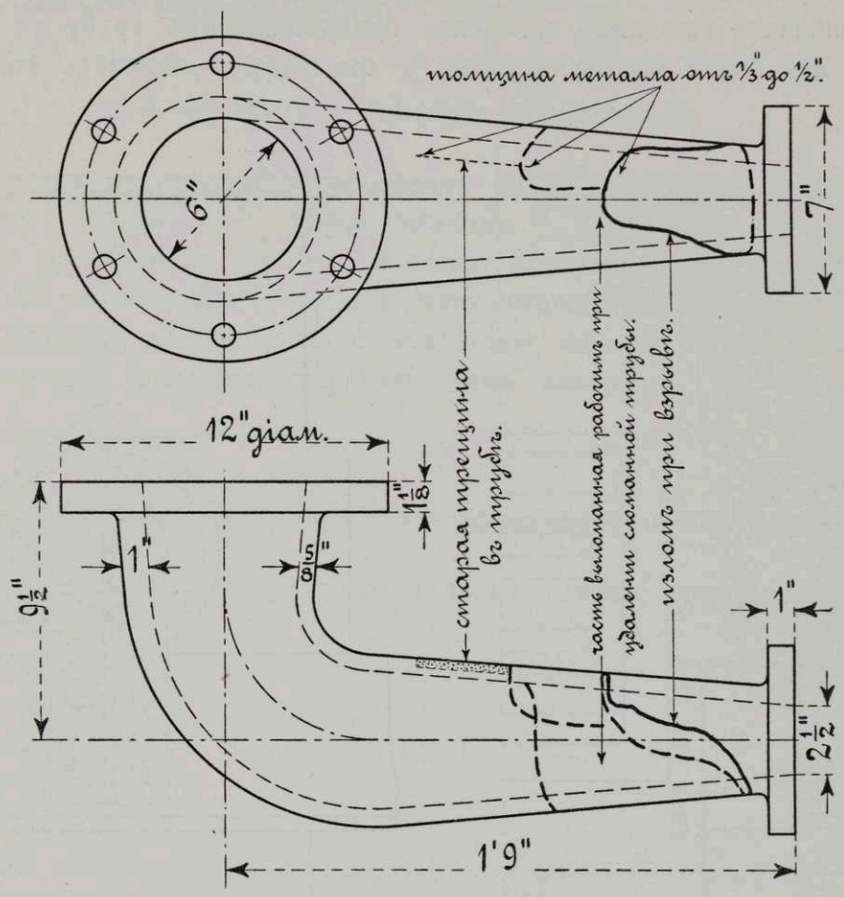
Во второмъ случаѣ, вслѣдствіе глупаго расположенія трубъ надъ котлами, съ отростkомъ, закрытымъ глухимъ флянцемъ *, невозможно было удалить изъ трубъ воду и произошелъ водяной ударъ, изломавшій сказанную слѣпую часть трубы. Діаметръ трубъ—15 дюймовъ, давленіе пара—70 фунтовъ, трубы пробованы на 250 фунтовъ (Англія, 1903 годъ).

10-й примѣръ. Изломъ колѣна между стѣнкою парового котла и продувнымъ краномъ.

Труба эта или колѣно должна была по проэкту имѣть толщину стѣнки въ $^3/_4$ дюйма, но, благодаря сносу стержня, толщина была перемѣнная, отъ 0,33 до 0,62

* Чертежъ расположенія см. журналъ „The Practical Engineer“, 1903 г., May 1, стр. 425.

дюйма на одной сторонѣ и отъ 0,72 до 1 дюйма на другой, чер. 125. Котелъ былъ постоянно подъ парами, и кочегаръ ежедневно открывалъ продувной кранъ на нѣсколько минутъ; на дворѣ же былъ сильный морозъ и поэтому кранъ подвергался неравномѣрному расширенію, что̀, въ совокупности со старой трещиной, и было причиною поломки. Вообще, чугунъ нельзя считать матеріаломъ, пригоднымъ для такихъ колѣнъ и слѣду-



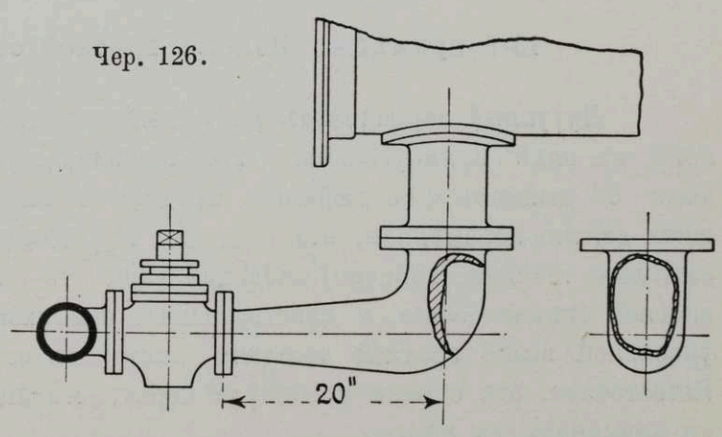
Чер. 125.

етъ предпочесть стальное литье, изъ какового и были сдѣланы послѣ поломки колѣна у обоихъ котловъ. Котлы назначались для давленія въ 100 фунтовъ, но во время поломки въ нихъ держали только 85 фунтовъ.

11-й примѣръ.

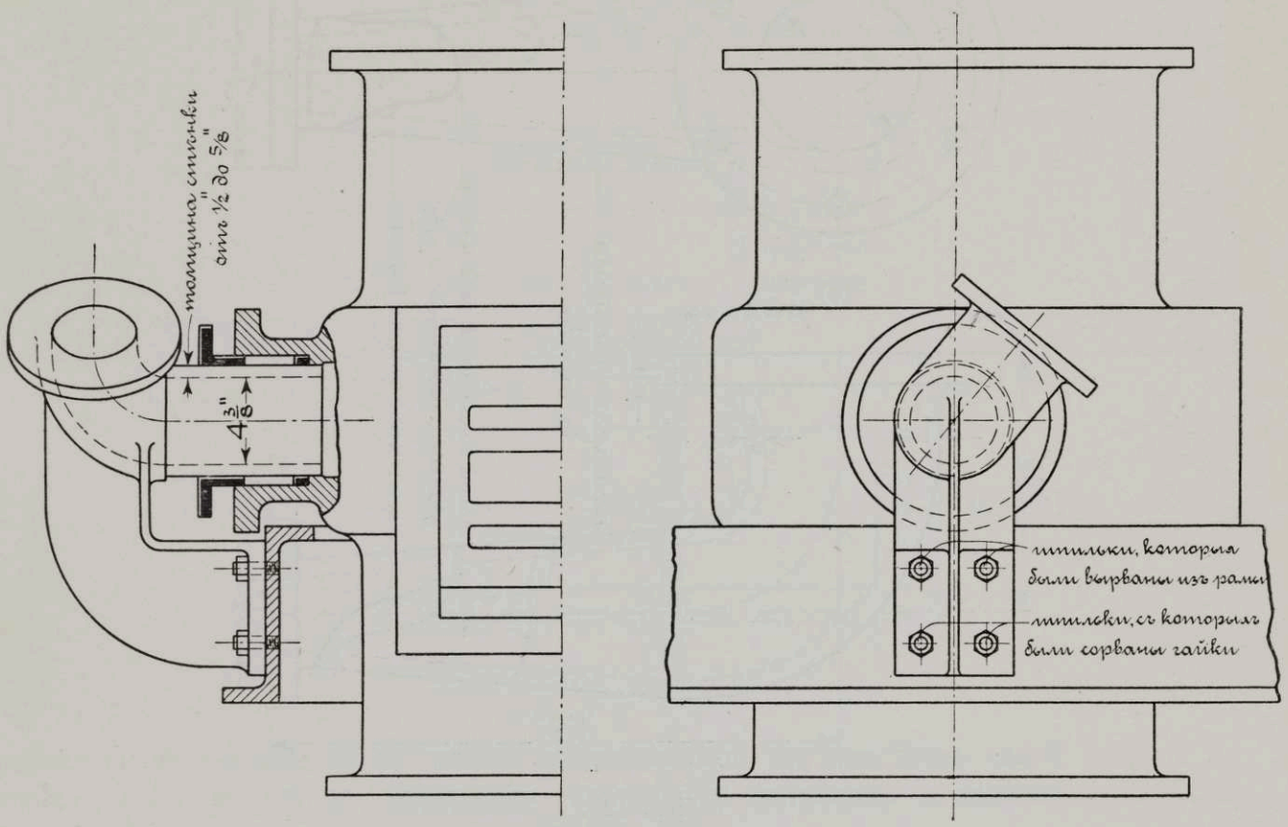
Другой подобный случай произошелъ съ колѣномъ продувного крана (чер. 126) Ланкаширскаго котла (длина котла — 30 футъ, діаметръ — 8 футъ). Котлы и колѣно работали всего $4^1/_2$ года и были опробованы гидравлическимъ давленіемъ въ 180 фунтовъ. Причиной поломки считаютъ разъѣданіе стѣнокъ отъ сырости, благодаря которому толщина ихъ мѣстами свелась всего къ $^1/_{16}$ дюйма. Одинъ кочегаръ былъ убитъ, а другой легко раненъ (рядомъ стояли всего семь такихъ котловъ). [Англія, 1903 г.].

Чер. 126.



12-й примѣръ. Поломка цапфы качающагося цилиндра паровой машины колеснаго парохода въ 30 номинальныхъ силъ.

Давленіе въ котлѣ—55 фунтовъ. Чугунная пустотѣлая цапфа или труба (чер. 127) имѣла внутренній діаметръ въ $4^3/_8$ дюйма, и толщину стѣнокъ отъ $^1/_2$ дюйма до $^5/_8$, и работала около 10 лѣтъ. Машины были осмотрѣны за три недѣли до поломки. При поломкѣ двѣ шпильки изъ числа четырехъ, прикрѣплявшихъ трубу къ рамѣ машины, были вырваны изъ нея и рѣзьба сорвана, а съ двухъ остальныхъ шпилекъ сорвало



Чер. 127.

гайки. Изъ чертежа видно, что цилиндръ виситъ только на двухъ трубахъ, такъ что весь вѣсъ его передается на нихъ и выворачиваетъ болты. Надо думать, что вслѣдствіе этого, при постоянномъ качаніи цилиндра, шпильки расшатались, гайки ослабли и труба была продольною осевою силою вырвана съ мѣста, выдута вонъ. Къ несчастію при этомъ былъ убитъ одинъ человѣкъ (Англія, 1903 годъ).

13-й примѣръ. Изломъ плоской стѣнки въ паропроводѣ.

Чугунный паропроводъ въ 7 дюймовъ діаметромъ, имѣлъ расширеніе или карманъ, въ видѣ прямоугольнаго параллепипеда, у котораго размѣры бо́льшей стороны были: 36 дюймовъ $\times$ 16 дюймовъ. Средняя толщина стѣнки—$^{13}/_{16}$ дюйма; вообще толщина сильно перемѣнная, отъ $^{11}/_{16}$ до $1^1/_4$ дюйма. Давленіе пара—120 фунтовъ. Для опытнаго техника, конечно, очевидно уже, что для такого высокаго давленія толщина плоской стѣнки—*мала*, и дѣйствительно, приблизительный подсчетъ, въ предположеніи указанной выше средней толщины, дастъ въ стѣнкѣ напряженіе около 14kg/□mm!! Естественно, эта стѣнка и лопнула черезъ мѣсяцъ послѣ постановки сказанной трубы съ карманомъ на мѣсто.

Интересно отношеніе къ дѣлу завѣдующаго этимъ паровымъ хозяйствомъ. Когда

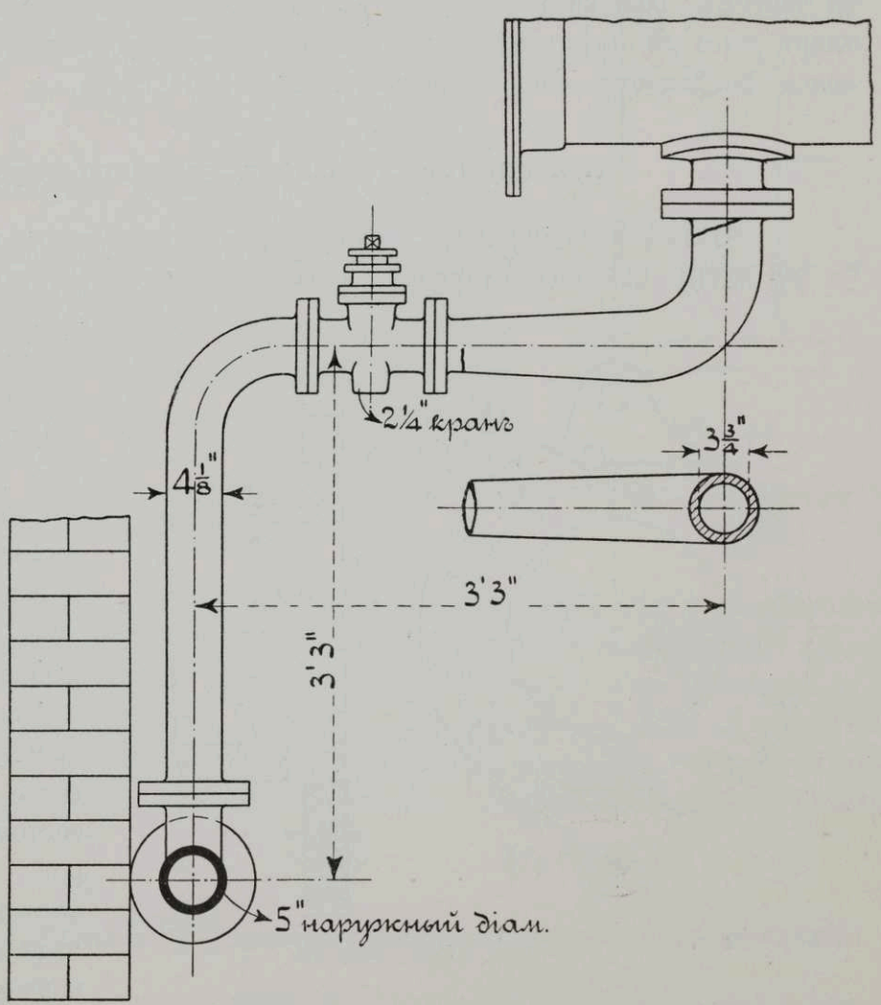
мѣсяцъ тому назадъ потребовалась, вслѣдствіе желанія переставить вентиль, постановка новой части съ карманомъ (той, объ изломѣ которой и идетъ рѣчь), то въ литейную послали заказъ на новую часть, давъ лишь діаметръ трубы, но *не указавъ—какова должна быть толщина плоскихъ стѣнокъ*. Литейщикъ подыскалъ первую попавшуюся подходящую модель, по ней отлилъ вещь и прислалъ. Вещь поставили на мѣсто, и никто не поинтересовался посмотрѣть — какова толщина плоскихъ стѣнокъ и достаточна ли она для такого высокаго давленія (Англія, 1906 г.).

14-й примѣръ. Поломка паропровода.

Чугунный вспомогательный паропроводъ имѣлъ діаметръ въ 6 дюймовъ и толщину стѣнокъ всего только въ $^1/_2$ дюйма (мѣстами $^7/_{16}$). Работалъ отъ главнаго стального паропровода перегрѣтымъ паромъ, давленіе котораго понижалось редукціоннымъ клапаномъ отъ 160 до 120 фунтовъ. Вслѣдствіе сотрясеній машинъ и потолка, къ которому былъ подвѣшенъ паропроводъ, и вслѣдствіе недостаточной толщины стѣнокъ паропроводъ взорвало. Испытанъ гидравлическимъ давленіемъ онъ никогда не былъ (Англія, 1907 г.).

15-й примѣръ. Взрывъ трубы продувного крана котла.

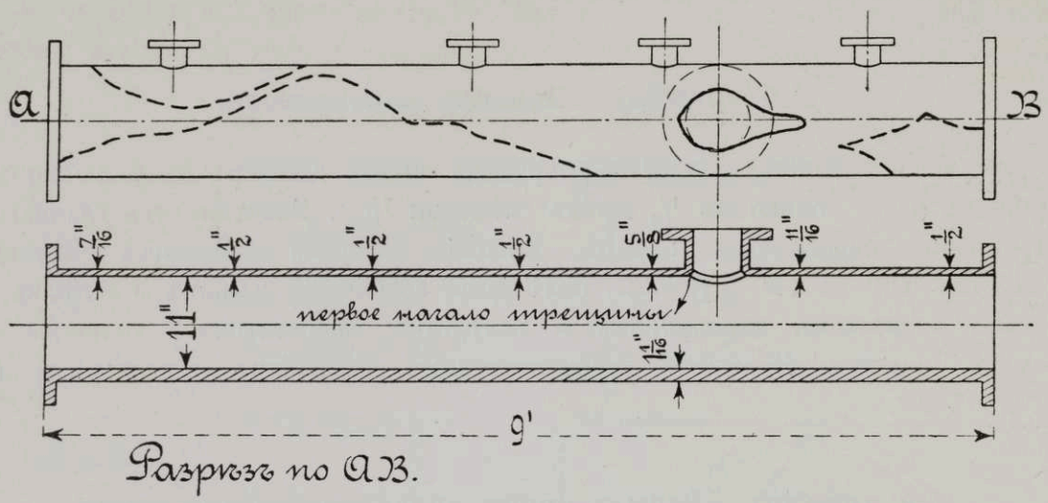
Колѣно, которое было взорвано въ данномъ случаѣ, представляетъ часть трубы, ведущей отъ котла къ продувному крану и затѣмъ наружу. Причину поломки слѣдуетъ искать въ томъ обстоятельствѣ, что вертикальная часть трубы была *вплотную прислонена къ кирпичной стѣнѣ*, и, такимъ образомъ, при расширеніи всего этого трубопровода, вслѣдствіе упора сказанной части въ стѣну, чер. 128, въ горизонтальной части его, т. е. въ сломавшемся колѣнѣ, развивались большія напряженія. Вообще, чугунъ слѣдуетъ признать неподходящимъ матеріаломъ для такихъ устройствъ, а если онъ употребляется, то необходимо соблюдать величайшую осторожность и не подвергать трубы такимъ опаснымъ напряженіямъ, какъ напряженія вслѣдствіе стѣсненнаго расширенія, каковое имѣло мѣсто въ данномъ случаѣ (Англія, 1904 годъ).



Чер. 128.

16-й примѣръ. Взрывъ главной паропроводной трубы.

Изображенная на чер. 129 часть трубопровода имѣла въ длину 9 футъ и составляла часть главнаго паропровода отъ котловъ къ машинѣ; толщина стѣнокъ измѣнялась отъ 1 дюйма до $^{7}/_{16}$ дюйма. При изслѣдованіи трубы оказалось, что она была отлита крайне плохо, такъ какъ *стержень имѣетъ сильный сносъ*. Кромѣ того, труба

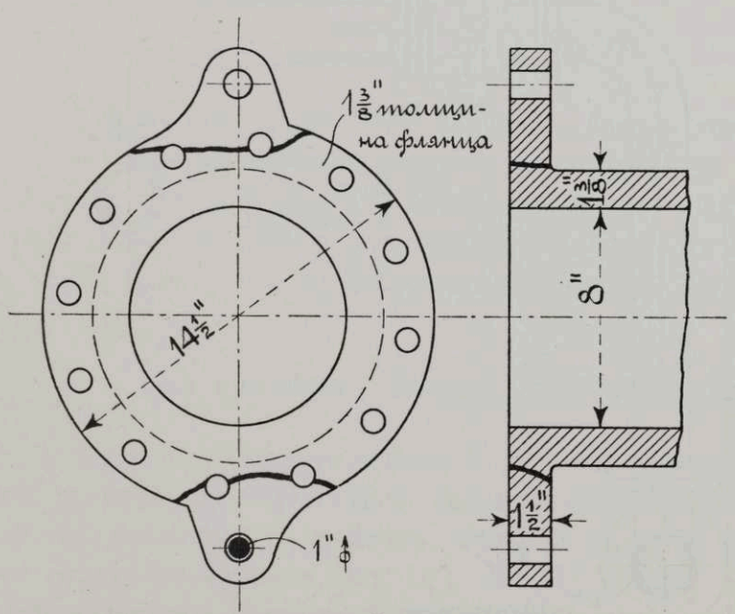


Чер. 129.

была еще ослаблена отверстіемъ, сдѣланнымъ для устройства отвѣтвленія, которое видно на чертежѣ. Никакихъ слѣдовъ разъѣданія не было найдено. Точно также, водяной ударъ едва ли имѣлъ здѣсь мѣсто, такъ какъ спускъ конденсаціонной воды производился, повидимому, очень хорошо (Англія, 1904 годъ).

17-й примѣръ. Изломъ главнаго паропровода.

Чугунный паропроводъ имѣлъ внутренній діаметръ въ 8 дюймовъ; толщина его въ той части, гдѣ онъ сломался, измѣнялась отъ $1^{3}/_{16}$ дюйма (въ верхней части) до $1^{3}/_{8}$ дюйма (въ нижней части); длина отдѣльной трубы, отъ флянца до флянца,—6 футъ. Размѣры флянца видны на чертежѣ 130. Два уха, прилитые къ флянцамъ въ томъ мѣстѣ паропровода, гдѣ имѣлся скользящій расширитель, и которыя какъ разъ и сломались, имѣли толщину въ $1^{1}/_{2}$ дюйма. Тяги, стягивавшія уши, имѣли длину въ $27^{1}/_{2}$ футъ и діаметръ въ 1 дюймъ. Паропроводъ не былъ застрахованъ, но состоялъ все таки подъ надзоромъ Страхового Общества. Что̀ касается причины излома, то, повидимому, скопленія въ трубахъ конденсаціонной воды не было; но ушки при изслѣдованіи оказались съ пороками между двумя прилегающими къ ушкамъ болтовыми дырами. Такъ какъ гайки длинныхъ тягъ (въ $27^{1}/_{2}$ футъ) были завернуты очень сильно, то все расширѐніе трубопровода должно было восприниматься расширительнымъ сальникомъ; онъ же былъ только что перебитъ вновь и, повидимому, слиш-



Чер. 130.

комъ сильно затянутъ, вслѣдствіе чего на ушки и передалась добавочная сила, которой они не могли выдержать. Инспекторъ „Board of Trade“ далъ слѣдующее заключеніе.

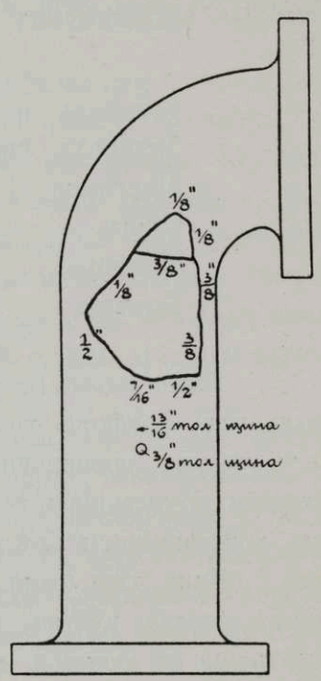
„Этотъ взрывъ, повидимому, имѣетъ своей причиной неправильныя условія, въ которыхъ работали ушки одного изъ флянцевъ трубопровода, къ которому были прикрѣплены предохранительные болты скользящаго расширителя. Возможно, что крышка сальника расширителя, неправильно (неравномѣрно) затянутая послѣ смѣны набивки его, защемила трубу въ расширителѣ; но такъ какъ этотъ конецъ трубы былъ, все таки, выброшенъ при взрывѣ давленіемъ пара вонъ изъ раструба, то надо полагать, что едва ли бы случилось такое серьезное несчастіе, если бы ушки были въ порядкѣ.

При взрывѣ былъ убитъ одинъ человѣкъ и одинъ тяжело раненъ.

18-й и 19-й примѣры. Водяной ударъ.

I. Взорванъ тройникъ паропровода, діаметръ отвѣтвленія—$8^3/_4$ дюйма. Благодаря открытію вентиля, произведенному ранѣе, нежели изъ трубъ была удалена вода, произошелъ водяной ударъ и взрывъ. Вырвавшійся паръ сварилъ на смерть двухъ человѣкъ.

II. Подобный же случай; взорванъ тройникъ на главномъ паропроводѣ. Діаметръ его—8 дюймовъ. Водяной ударъ произошелъ, повидимому, вслѣдствіе спуска конденсаціонной воды подъ полнымъ давленіемъ пара. Былъ раненъ и умеръ отъ зараженія крови главный механикъ (Англія, 1904 годъ).



Чер. 131.

20-й и 21-й примѣры. Водяной ударъ.

I. Въ газетной типографіи понадобилось пустить въ ходъ паровую машину не во время. За отсутствіемъ машиниста одинъ изъ кучки собравшихся рабочихъ самовольно открылъ паропускной вентиль, не принявъ мѣръ къ спуску изъ трубопровода конденсаціонной воды, которой всегда скоплялось очень много, благодаря плохому расположенію паропровода. Въ результатѣ получился водяной ударъ и изломъ трубы, показанный на чер. 131. Къ счастію никто не былъ раненъ.

II. На одномъ рудникѣ имѣлось расположеніе трубъ, какъ нельзя болѣе благопріятное для водяного удара. Надъ паропроводною трубою имѣлось отвѣтвленіе (діаметромъ въ 5 дюймовъ), расположенное такъ, что конденсаціонная вода изъ него (а ея накоплялось всегда много) попадала въ главную трубу (устройство было „временное“). Послѣдствіемъ этого, какъ объяснено у насъ раньше, долженъ быть водяной ударъ, если въ главной трубѣ есть паръ. Таковой и случился и труба была разорвана (Англія, 1903 годъ).

22-й примѣръ. Взрывъ паропровода вслѣдствіе стѣсненнаго расширенія.

Чугунный паропроводъ въ 6 дюймовъ діаметромъ и около 80 футъ длиною былъ такъ расположенъ между котломъ и машиною, что оба конца его были *укрѣплены наглухо* и расширяться онъ не могъ. Благодаря этому произошла поломка трубъ, чему способствовало еще и то обстоятельство, что прокладки между флянцами, сдѣланныя изъ рифленыхъ колецъ, были узки и лежали цѣликомъ внутри круга, обра-

зуемаго болтами. Это, какъ было объяснено раньше, способствуетъ развитію во флянцахъ значительнаго напряженія изгиба. Матеріалъ трубъ оказался хорошимъ (Англія, 1908 г.).

23-й примѣръ. Взрывъ чугуннаго паропровода вслѣдствіе плохого матеріала.

Чугунный паропроводъ имѣлъ въ діаметрѣ 21 дюймъ и велъ паръ изъ 8 котловъ (давленіе 150 фунтовъ) къ прокатнымъ паровымъ машинамъ (діам. цил.—54 дюйма, ходъ—60 дюймовъ). Взрывъ произошелъ въ 1908 году, послѣ 8 лѣтъ работы, и былъ очень силенъ; одна часть трубы разлетѣлась на сто съ лишнимъ кусковъ. Причины взрыва: старая трещина во флянцѣ, неудачное расположеніе трубъ и стыковъ ихъ, являющееся причиною добавочныхъ напряженій, вибраціи трубопровода, передающіяся къ нему отъ машинъ и, самое главное, совершенно негодный матеріалъ трубъ. Анализы чугуна изъ взорванной вѣтви трубы дали слѣдующіе результаты (было произведено два независимыхъ анализа):

	I.	II.
Углерода, въ видѣ графита	2,96	2,650%
Углерода, связаннаго химически	0,09	0,135%
Марганца	1,25	1,377%
Сѣры	0,05	0,044%
Фосфора	0,53	1,382%
Кремнія	3,93	4,042%

Какъ видно, количество кремнія превышаетъ допускаемую норму, также какъ и количество фосфора во второмъ анализѣ; результатомъ этого избытка и явилась слабость чугуна, совершенно непригоднаго въ такомъ составѣ для паропровода высокаго давленія. Результаты испытаній на разрывъ тоже получились неважные, именно, оказались коэффиціенты крѣпости отъ 5,5 до 6 kg/□mm.

Какъ уже было замѣчено ранѣе, при такомъ діаметрѣ трубъ, высокой температурѣ (когда чугунъ уже начинаетъ терять крѣпость) и высокомъ давленіи, чугунъ *совершенно не годится* для паропровода, въ особенности если онъ такъ плохъ, какъ въ данномъ примѣрѣ.

Слѣдуетъ сказать еще, что послѣ описаннаго взрыва произошелъ и второй сильный взрывъ того же трубопровода (Англія, 1908 г.).

Примѣровъ водяного удара въ чугунныхъ паропроводахъ довольно много, но они не представляютъ ничего особеннаго; суть дѣла вездѣ одна и та же—недостаточно полное удаленіе воды изъ трубъ передъ пускомъ машинъ въ работу, и поэтому подробно разбирать ихъ не будемъ.

§ 57. Что̀ касается теперь поломокъ чугунныхъ водопроводныхъ, газопроводныхъ и канализаціонныхъ трубъ, то въ этомъ отношеніи громадный интересъ представляетъ книжка J. Edward Litten: „Das geschweisste Schmiedeeisenrohr für Kanalisations-, Wasser- und Gasleitungen“, 2 Auflage. Berlin, 1906. Selbstverlag des Verfassers. Въ этой книгѣ авторъ является горячимъ защитникомъ желѣзныхъ трубъ и требуетъ *полнаго изгнанія* чугуна, какъ матеріала для трубъ, служащихъ въ городахъ для названныхъ трехъ цѣлей. Въ доказательство опасности чугунныхъ трубъ для жизни, здоровія и имущества людей, авторъ приводитъ *болѣе двухсотъ* примѣровъ поломокъ чугунныхъ трубъ, крупныхъ и мелкихъ, случившихся только за три послѣдніе года: 1904, 1905 и 1906. Эти примѣры весьма краснорѣчивы и невольно заставляютъ задуматься надъ тѣмъ—не пора ли, дѣйствительно, уменьшить число жертвъ и сумму убыт-

ковъ путемъ замѣны чугуна желѣзомъ. Мы приведемъ здѣсь только нѣсколько примѣровъ, наиболѣе заслуживающихъ вниманія.

Изъ разсмотрѣнія всѣхъ приведенныхъ авторомъ примѣровъ выясняется интересное обстоятельство, именно, что разрывы канализаціонныхъ и водопроводныхъ трубъ являются опасными почти исключительно для имущества людей, но не для *жизни* ихъ, такъ какъ изъ всѣхъ примѣровъ книги ни въ одномъ случаѣ поломки трубъ канализаціи и водопровода *нѣтъ смертныхъ случаевъ съ людьми и тяжелыхъ увѣчій*. Наоборотъ, порча *газовыхъ* трубъ является *въ высшей степени опасною для* **жизни** *людей*, такъ какъ проникающій изъ сломанной или негерметичной трубы свѣтильный газъ наполняетъ помѣщенія и служитъ или причиною взрыва, если зажгутъ огонь, или же, еще хуже того, набираясь ночью, и даже пробираясь потихоньку, какъ воръ, въ дома даже и въ томъ случаѣ, если лопнетъ труба, лежащая внѣ дома, по улицѣ, газъ отравляетъ спящихъ людей и утромъ ихъ находятъ мертвыми. Такая разница въ дѣйствіи воды и газа понятна. Вода разливается по поверхности, но не подымается вверхъ, газъ же распространяется и вверхъ и лѣзетъ въ дома даже по порамъ стѣнъ.

Изъ приведенныхъ въ книгѣ Литтена примѣровъ видно, что *почти каждый случай* порчи газовыхъ трубъ оканчивался смертію. Я насчиталъ 11 такихъ случаевъ, на каждый изъ которыхъ падаетъ смерть. Всего на эти 11 случаевъ приходится 17 смертей и 7 тяжелыхъ раненій и отравленій, и на одинъ случай—13 легко раненыхъ, безъ смертей. Есть надъ чѣмъ призадуматься! Наиболѣе поразителенъ случай въ Падерборнѣ, гдѣ газъ, не проведенный въ домъ, но проведенный въ фонарь надъ домомъ, вырываясь изъ лопнувшей подъ домомъ трубы проникъ сквозь почву въ домъ изъ подъ пола, у стѣны, и отравилъ на смерть мужа и жену, спавшихъ у этой стѣны. Затѣмъ случай въ Лондонѣ, гдѣ сразу отравлено на смерть **пять** человѣкъ *.

Весьма интересенъ случай въ Касселѣ, хотя онъ и безъ вреда для людей. Именно, 4 Марта 1906 года утромъ жители низкой части города, пользующіеся въ домахъ газомъ, съ изумленіемъ увидали, что изъ всѣхъ кранов капаетъ *вода*, а когда краны открывали, то вмѣсто газа фонтаномъ била вода, даже въ верхнихъ этажахъ домовъ; била вода фонтаномъ до крышъ домовъ и изъ открытыхъ служащими Газоваго Общества водяныхъ горшковъ сѣти, и это продолжалось цѣлые часы, и только къ 3 часамъ дня нашли причину происшествія.

Пять дней пришлось работать массѣ людей для того чтобы выкачать и выгнать воду изъ всѣхъ мѣстъ газовой сѣти, изъ 800 газометровъ, изъ трубъ, изъ горѣлокъ, кранов и пр.

Причина же всей исторіи состояла въ томъ, что на одномъ высокомъ мѣстѣ города пересѣкаются газовая и водопроводная сѣти, обѣ изъ чугунныхъ трубъ; здѣсь же два мѣсяца тому назадъ проложили канализацію; земля осѣла, и газовая и водопроводная труба — обѣ лопнули, и идущая внизъ съ горы часть газовой трубы сѣла и вода, наполняя образовавшуюся яму, свободно полилась въ эту трубу и наполнила всю расположенную ниже газовую сѣть.

Изъ поломокъ водопроводныхъ трубъ замѣчательны по крупнымъ убыт-

---

* Литтенъ слѣдилъ за поломками трубъ, повидимому, по газетамъ и журналамъ не техническимъ. Если бы онъ такъ же внимательно просмотрѣлъ и литературу техническую, то нашелъ бы, можетъ быть, еще больше примѣровъ очень серьезныхъ порчъ чугунныхъ трубъ. Приведу два, изъ самаго послѣдняго времени, которые попасть въ книгу Литтена не могли.

1) Въ Филадельфіи, въ 1906 году, во время производства работъ по подземной дорогѣ была обнажена газовая труба, оказавшаяся негерметичной; въ тоннелѣ образовалась взрывчатая смѣсь, произошелъ взрывъ и было убито *восемь* человѣкъ и много ранено.

2) Въ Винуски (Сѣв. Ам. Соед. Шт.) въ 1907 г. газъ изъ лопнувшей подземной трубы нашелъ себѣ подъ замерзшимъ верхнимъ слоемъ почвы дорогу въ домъ, куда трубы не проведены, и, наполнивъ комнату ночью, отравилъ на смерть *шесть* человѣкъ: мужа, жену и четырехъ дѣтей.

камъ двѣ. Первая — въ Нью-Іоркѣ, въ 1906 г., гдѣ ночью 6 Января лопнула магистраль и разливомъ воды причинило убытку на полъмилліона рублей. По счастію, грунтъ въ мѣстѣ разрыва былъ хорошъ. Если бы разрывъ произошелъ далѣе, въ плывунѣ, то могло размыть грунтъ и могли рухнуть дома, у которыхъ подмыло бы фундаменты; трудно даже представить, что̀ могло тогда произойти!

Второй случай — тоже въ Нью-Іоркѣ, 17 Февраля 1906 г., когда *одновременно* лопнуло *восемь* идущихъ рядомъ магистралей и водою залило всю окружающую мѣстность. Убытокъ — около одного милліона рублей. Причина — неудачный взрывъ скалы поблизости. Кусокъ скалы упалъ на мостовую, прошибъ асфальтъ и перешибъ всѣ восемь трубъ.

Этимъ заканчиваю собраніе примѣровъ поломокъ чугунныхъ трубъ.

§ 58. Приведу, въ заключеніе, еще нѣкоторыя указанія на нѣсколько статей въ журналахъ, имѣющихъ отношеніе къ чугуннымъ водо- и газопроводнымъ трубамъ.

Журналъ „*Engineering News*“:

1899 годъ, Сентябрь 14. — Большая статья о различныхъ асфальтировкахъ. Только ввиду недостатка мѣста я не привожу ее здѣсь, да она имѣетъ уже и слишкомъ спеціальный интересъ. Но для молодого водопроводнаго инженера статья въ высшей степени полезна. Въ ней разобрано подробно болѣе десяти различныхъ составовъ для покрышки трубъ и даны подробности о производствѣ асфальтировки и объ испытаніи ея.

— Октябрь 12. — Способъ укладки 6-дюймовой трубы поперекъ Гаванской гавани.

1900 годъ, Май 17. — Статья объ асфальтировкахъ (спеціально изъ асфальта разныхъ сортовъ).

1902 годъ, Октябрь 2. — Методы, примѣнявшіеся при постройкѣ газопровода въ г. Бостонѣ.

1904 годъ, Апрѣль 14. — Таблица вѣсовъ чугунныхъ трубъ отъ 3 до 48 дюймовъ діаметромъ, съ толщинами стѣнокъ отъ $^5/_{16}$ до $1^3/_8$ дюйма.

— Сентябрь 29. — Нѣкоторыя спецификаціи для чугунныхъ трубъ; критика ихъ (небольшая замѣтка).

— Декабрь 8. — О заполненіяхъ раструбныхъ соединеній цементомъ какъ о средствѣ противъ порчи трубъ электролизомъ.

1905 годъ, Мартъ 2. — Стоймость укладки 12-дюймовой трубы поперекъ рѣки.

— Апрѣль 6. — Объ укладкѣ тройной линіи 60-дюймовыхъ трубъ въ Филадельфіи.

1907 годъ, Октябрь 10, Октябрь 31 и Ноябрь 14. — О пріемахъ для наиболѣе простой и быстрой разборки лежащихъ въ землѣ чугунныхъ водопроводныхъ линій.

1908 годъ, Мартъ 26. — О нахожденіи мѣста утечки въ водопроводной трубѣ при помощи впуска въ сѣть трубъ каустической соды (съ точностію до 6 футъ).

— Май 14. — О способѣ укладки подводной линіи трубъ по-

перекъ канала въ г. Ванкуверѣ. Описаніе пріемовъ и стоймость работы.

— Май 28. — О способѣ укладки подводной линіи канализаціонныхъ трубъ г. Салемъ, Массачузетсъ; длина подводной линіи—**10000 футъ**, діаметръ трубъ—30 дюймовъ.

(Обѣ послѣднія работы весьма интересны).

— Августъ 6. — О пневматической чеканкѣ раструбныхъ соединеній водопроводныхъ трубъ.

Журналъ „*The Practical Engineer*“:

1904 годъ, Апрѣль 29. — О просверливаніи трубъ подъ давленіемъ; новый аппаратъ, позволяющій просверливать при давленіяхъ до 13 атмосферъ.

1905 годъ, Январь—Іюнь.—Въ Іюньскихъ номерахъ находится статья Юза о водопроводахъ вообще, въ которой разбираются всѣ вопросы устройства водопроводовъ; статья содержитъ много практическихъ данныхъ и назначена спеціально для молодыхъ инженеровъ. Въ № отъ 23 Іюня содержатся краткія данныя о чугунныхъ трубахъ.

Чрезвычайно интересная и очень обширная статья о труболитейномъ дѣлѣ въ Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ имѣется въ журналѣ „*The Engineer*“ за 1902 годъ, и начинается съ 15 Февраля. Въ этой статьѣ имѣется краткая исторія водопроводныхъ трубъ, подробности объ способахъ отливки трубъ и устройствѣ литейныхъ въ Америкѣ, подробныя данныя о способахъ расчета трубъ и чертежи соединеній трубъ и фасонныхъ частей. Изъ этой цѣнной статьи мною заимствованы таблицы 109 (фиг. 1—7), 110, 111 (фиг. 1—14) и 122 *Атласа*. Статья заслуживаетъ полнаго вниманія водопроводнаго инженера. Ввиду ея обширности приводить здѣсь изъ нея выдержки—невозможно.

Не безинтересныя данныя относительно расчета трубъ, асфальтировки и пр. можно найти въ докладѣ инж. Dexter Brackett, читанномъ передъ Водопроводной Ассоціаціей Новой Англіи въ 1899 году. Краткое извлеченіе имѣется въ журналахъ, напр. въ „*Engineering News*“ за 1899 годъ, Янв. 19.

Журналъ „*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*“:

1908 годъ, 8 Августа. — Вращающійся столъ (6 сажень діаметромъ) для непрерывной отливки чугунныхъ трубъ. Позволяетъ отлить въ часъ 240 трубъ. Рисунки и краткое описаніе.

Журналъ „*Engineering*“:

1900 годъ, Октябрь 26. — Рисунокъ и краткое описаніе машины для обработки флянцевъ большихъ трубъ: для трубъ съ длиною отъ 3 до 14 футъ и для флянцевъ отъ 12 до 36 дюймовъ въ діаметрѣ. Производительность машины—15 трубъ въ день.

Для начинающихъ водопроводныхъ инженеровъ и техниковъ въ высшей степени интересной является книга, изданная въ 1905 г. Московской Городской Думой, представляющая отчетъ о постройкѣ новаго Мытищенскаго водопровода, носящая такое заглавіе:

„ОПИСАНІЕ СООРУЖЕНІЙ НОВАГО МОСКОВСКАГО ВОДОПРОВОДА.

Строительный періодъ 1890—1893 г.

Составилъ Ученый Инженеръ-Механикъ Н. П. Зиминъ“.

Эта книга представляетъ изъ себя подробный отчетъ, съ техническими и экономическими данными, о постройкѣ сказаннаго водопровода и является весьма цѣннымъ матеріаломъ въ технической литературѣ, такъ какъ такихъ подробныхъ данныхъ обыкновенно то и не хватаетъ въ литературѣ. Нужно привѣтствовать просвѣщенную рѣшимость Московской Городской Думы — издать весь этотъ цѣнный матеріалъ, не боясь крупныхъ затратъ, съ которыми сопряжено такое дорогое изданіе, съ богато иллюстрированнымъ Атласомъ. Этимъ, несомнѣнно, оказана большая услуга развитію водопроводнаго дѣла въ Россіи, такъ какъ инженеръ-конструкторъ постоянно нуждается въ *живомъ* матеріалѣ, взятомъ изъ хорошей практики.

———*———

ГЛАВА VIII.

Желѣзныя и стальныя (не литыя) трубы.

Клепаныя трубы.

Желѣзныя и стальныя трубы могутъ быть раздѣлены на два класса:

1). Трубы, получаемыя изъ *одного цѣльнаго куска* металла путемъ выдавливанія, прокатки и пр.; эти трубы вообще носятъ названіе трубъ **цѣльнотянутыхъ.**

2). Трубы, составленныя по окружности изъ частей, которыя обыкновенно имѣютъ первоначально форму листовъ; такія трубы могутъ быть образованы путемъ *склепыванія* листовъ или инымъ аналогичнымъ способомъ (соединеніе по методу Мефана Фергюсона и т. п.) или же путемъ *свариванія* листовъ. Такимъ образомъ, трубы этого класса можно, въ свою очередь, подраздѣлить на:

I. — Трубы *клепаныя* (и аналогичныя имъ);

II. — Трубы *сварныя*.

Разсмотримъ прежде трубы второго класса, именно, составленныя изъ отдѣльныхъ листовъ, и изъ нихъ сперва трубы клепаныя и аналогичныя имъ.

Желѣзныя и стальныя клепаныя трубы.

§ 59. Клепаныя желѣзныя и стальныя трубы пользуются большимъ распространеніемъ въ Англіи (и Англійскихъ колоніяхъ) и въ Америкѣ, въ качествѣ водопроводныхъ трубъ. Въ Европѣ же онѣ пока примѣняются сравнительно рѣдко, почти исключительно для подведенія воды къ турбинамъ высокаго давленія.

Такъ какъ желѣзныя и стальныя трубы появились на сцену гораздо позднѣе, нежели чугунныя трубы, и конкуррируютъ съ этими послѣдними, то первый вопросъ, который является при разсмотрѣніи желѣзныхъ и стальныхъ трубъ, состоитъ въ томъ— „чѣмъ же эти новыя трубы лучше прежнихъ, чугунныхъ“? Вопросъ этотъ весьма сложный и служитъ предметомъ оживленныхъ споровъ въ Техникѣ между приверженцами прежнихъ, чугунныхъ и новыхъ, желѣзныхъ и стальныхъ трубъ. Насколько можно судить по весьма обширной иностранной литературѣ, дѣло обстоитъ въ настоящее время такимъ образомъ.

Желѣзныя и стальныя клепаныя трубы передъ чугунными представляютъ значительныя преимущества, изъ числа которыхъ здѣсь укажемъ слѣдующія важнѣйшія:

1). Желѣзныя и стальныя клепаныя трубы значительно *легче*, нежели чугунныя, назначенныя для тѣхъ же условій работы; это отражается выгоднымъ образомъ на стоимости пересылки и перевозки въ странахъ съ плохими путями сообщенія, гдѣ иногда единственнымъ средствомъ перевозки является переправа груза на лошадяхъ, мулахъ и т. п.

Въ среднемъ можно принимать, что вѣсъ желѣзныхъ или стальныхъ клепаныхъ трубъ будетъ въ **три—четыре** или даже въ **пять** разъ менѣе нежели чугунныхъ;

2). Желѣзныя и стальныя клепаныя трубы, по условіямъ ихъ изготовленія изъ длинныхъ прокатныхъ листовъ, могутъ быть изготовляемы съ длиною, которая приблизительно въ *три раза больше,* нежели длина соотвѣтствующихъ чугунныхъ трубъ. Вслѣдствіе этого число соединеній трубъ, потребное на данной полной длинѣ линіи, будетъ для нихъ втрое менѣе, нежели при чугунныхъ трубахъ. Какъ мы знаемъ, это весьма выгодно отражается на стоимости устройства трубопровода и на его герметичности. Именно, въ то время, какъ обычная длина чугунныхъ трубъ не превышаетъ 12 футъ, желѣзныя и стальныя клепаныя трубы свободно изготовляются въ настоящее время съ длинами отъ 18 до 40 футъ и даже болѣе.

3). Раструбныя соединенія клепаныхъ желѣзныхъ и стальныхъ трубъ могутъ быть сдѣланы *гораздо болѣе герметичными*, нежели у трубъ чугунныхъ, потому что при чугунныхъ трубахъ расчеканка свинца, которымъ залиты раструбы, требуетъ все таки извѣстной о с т о р о ж н о с т и, иначе можно расколоть раструбъ, такъ какъ чугунъ весьма плохо сопротивляется ударамъ. При желѣзныхъ же и стальныхъ трубахъ расчеканку можно производить гораздо смѣлѣе, такъ какъ расколоть раструбъ изъ такихъ матеріаловъ—невозможно.

4). Большое количество клепаныхъ желѣзныхъ или стальныхъ трубъ, для постройки длиннаго трубопровода, можетъ быть изготовлено *гораздо быстрѣе*, нежели чугунныя трубы, въ особенности если діаметръ трубопровода великъ; подобное соображеніе имѣло мѣсто при выборѣ характера трубъ для устройства водопровода города Newark, N. J., въ Америкѣ.

5). Желѣзныя и стальныя трубы обладаютъ гораздо *бо́льшею вязкостію*, нежели чугунныя; матеріалъ ихъ болѣе тягучъ и поэтому способенъ лучше сопротивляться различнымъ постороннимъ вліяніямъ, дѣйствующимъ на трубопроводъ. Въ то время, какъ въ случаѣ внезапныхъ осадокъ грунта, землетрясеній и пр. чугунныя трубы ломаются, желѣзныя и стальныя трубы, въ силу своей бо́льшей тягучести, сильно деформируются, но не разрушаются окончательно, какъ трубы чугунныя, и не причиняютъ такихъ рѣзкихъ нарушеній правильнаго теченія жидкости, а иногда поддерживаютъ даже правильное водоснабженіе.

Есть, конечно, у клепаныхъ желѣзныхъ и стальныхъ трубъ и свои слабыя стороны, но недостатки эти не такъ страшны, чтобы съ ними нельзя было бороться. Такихъ слабыхъ сторонъ у разсматриваемыхъ трубъ двѣ:

1). Сравнительно очень легкое ихъ *ржавленіе*;

2). Опасность *сплющиванія* ихъ внѣшними нагрузками, происходящая отъ очень малой толщины стѣнокъ ихъ, которая обыкновенно бываетъ гораздо ближе къ теоретической, полученной по формулѣ Маріотта, нежели при чугунныхъ трубахъ, гдѣ, благодаря большой прибавкѣ на случайныя вліянія, стѣнка выходитъ настолько толстой, что опасаться сплющиванія чугунной трубы почти никогда не приходится.

Разумнымъ выборомъ толщины стѣнки желѣзной или стальной клепаной трубы (а въ крайнемъ случаѣ—усиленіемъ ея приклепанными жесткими кольцами) удается устранить опасность сплющиванія; возможность же ржавленія устраняется тщательной покрышкой или асфальтировкой трубы, которая здѣсь имѣетъ еще бо́льшее значеніе, нежели при чугунныхъ трубахъ.

Послѣ этихъ предварительныхъ замѣчаній разсмотримъ теперь подробно устройство желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубъ и ихъ соединеній, а также разберемъ подробнѣе ихъ хорошія и дурныя качества.

Прежде всего познакомимся съ нѣкоторыми историческими свѣдѣніями относительно постепеннаго развитія и распространенія клепаныхъ водопроводныхъ трубъ.

Послѣ трубъ свинцовыхъ, каменныхъ, глиняныхъ и деревянныхъ, какъ Англія, такъ и Америка вступили въ періодъ чугунныхъ водопроводныхъ трубъ. Но Америка гораздо ранѣе Англіи перешла къ употребленію *желѣзныхъ* клепаныхъ трубъ и только къ концу 80-хъ годовъ начала строить и стальныя трубы. Англія же почти сразу перешла отъ чугунныхъ прямо къ стальнымъ трубамъ, минуя почти совершенно желѣзныя. Такая разница объясняется весьма просто слѣдующими обстоятельствами. Америка одно время выписывала многое изъ Англіи, въ томъ числѣ и желѣзные листы малаго размѣра для своихъ клепаныхъ трубъ и они оказывались очень дешевыми, дешевле привозныхъ чугунныхъ трубъ, которыя обходились гораздо дороже благодаря своему значительному вѣсу. Съ другой стороны, въ самой Великобританіи чугунныя трубы обходились дешевле желѣзныхъ благодаря небольшимъ разстояніямъ, обилію чугунолитейныхъ заводовъ и вообще обилію рудниковъ и чугуна. Каждая страна пользовалась тѣмъ, что́ для нея было дешевле, и только съ введеніемъ на рынокъ мягкой стали, при изготовленіи которой вновь оборудованные для этой цѣли Англійскіе заводы оказались въ состояніи прокатывать стальные листы значительно бо́льшихъ размѣровъ, нежели прежніе малые желѣзные, клепаныя стальныя трубы сразу получили въ Англіи значительное распространеніе, будучи настолько дешевы, что оказались въ состояніи конкуррировать съ чугунными.

Америка же, привыкшая строить трубы изъ привозныхъ желѣзныхъ листовъ, къ каковымъ было приспособлено и все оборудованіе заводовъ, изготовляющихъ трубы, еще долгое время продолжала оставаться при изготовленіи трубъ изъ большого числа малыхъ желѣзныхъ листовъ, и перешла къ стальнымъ трубамъ только въ 90-хъ годахъ.

Очевидно, дѣлать трубы изъ большого числа малыхъ листовъ—невыгодно, такъ какъ получается гораздо бо́льшее число заклепочныхъ швовъ, требуется гораздо болѣе заклепокъ, такъ что работа обходится дороже, и, наконецъ, вѣроятность течи больше. Лучше всего это видно изъ слѣдующаго примѣра.

Въ то время, когда можно было получить только желѣзные листы, труба, діаметромъ въ 34 дюйма, съ толщиною стѣнокъ въ $^1/_8$ дюйма, составлялась по окружности изъ *двухъ* листовъ, причемъ ширина листовъ не превосходила тогда 42 дюймовъ. Но уже въ 1891 году возможно было устроить такую же трубу изъ *одного* стального листа съ шириною въ 63 дюйма. Принимая напускъ листовъ въ продольныхъ швахъ равнымъ $2^1/_4$ дюймамъ, а въ поперечныхъ—$1^1/_4$ дюйма и считая шагъ заклепочныхъ швовъ равнымъ $1^1/_2$ дюймамъ въ продольныхъ швахъ (полагая шовъ—двойной) и

$1^1/_4$ дюйма—въ одиночныхъ поперечныхъ швахъ, мы получимъ, считая всѣ остальныя условія одинаковыми, что на длинѣ въ 1000 футъ требуется:

	желѣзо:	сталь:
число листовъ	588	194
размѣры каждаго листа	59×42 дюйм.	$115^3/_4$×63 дюйм.
полный вѣсъ листовъ	27,79 тонны	28,03 тонны
число заклепокъ	57036	32980
полный вѣсъ заклепокъ	0,69 тонны	0,40 тонны.

Изъ этого видно, что стальная труба изъ крупныхъ листовъ выгоднѣе, такъ какъ она требуетъ меньшаго числа заклепокъ, слѣдовательно, меньше будетъ работа клепки, пробивки дыръ и чеканки и меньше вѣроятность течи.

Но для того, чтобы стальныя трубы имѣли, въ смыслѣ дешевизны, передъ желѣзными значительный перевѣсъ, необходимо употреблять для этой цѣли мягкую Сименсъ-Мартеновскую сталь съ весьма высокой крѣпостію на разрывъ.

Конструкція и расчетъ желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубъ.

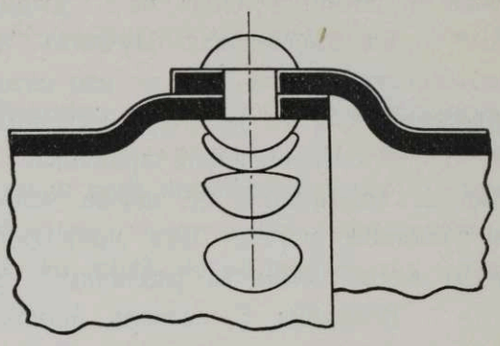
§ 60. Матеріаломъ для клепаныхъ трубъ является или желѣзо (Wrought Iron) или *сталь* (Steel). Выборъ того или другого матеріала зависитъ или отъ историческихъ условій, какъ сказано ранѣе, или же обусловливается соображеніями относительно долговѣчности трубы, въ смыслѣ сопротивленія ея ржавленію и разъѣданію, о чемъ подробно говорится далѣе. Съ точки же зрѣнія конструкціи и расчета желѣзныя и стальныя трубы никакой разницы не представляютъ.

Клепаная желѣзная или стальная труба составляется обычнымъ путемъ изъ листовъ, причемъ, въ зависимости отъ діаметра трубы, она по окружности можетъ быть составлена или изъ одного листа, или же изъ нѣсколькихъ. По длинѣ отдѣльные барабаны, образующіе трубу, обыкновенно склепываются въ числѣ нѣсколькихъ штукъ въ мастерской, такъ что образуется клепаный кусокъ трубы, длиною обыкновенно отъ 18 до 40 футъ (а иногда и болѣе), смотря по обстоятельствамъ, и въ такомъ видѣ трубы эти пересылаются къ мѣсту назначенія. Здѣсь же, при укладкѣ, такія длинныя части уже соединяются другъ съ другомъ на мѣстѣ, или тоже при помощи клепки (*полевая* клепка, field riveting, въ противоположность заводской клепкѣ, shop riveting), или же какими нибудь иными способами, о которыхъ подробно говорится далѣе. Какъ уже сказано ранѣе, полученіе въ мастерской клепаныхъ частей гораздо бо́льшей длины, нежели обычная длина чугунныхъ трубъ, является большою выгодою, позволяя уменьшить число соединеній трубъ.

Характеръ продольнаго шва клепаной трубы выбирается въ зависимости отъ *давленія* въ трубѣ. При небольшихъ давленіяхъ можно устраивать шовъ одиночный, при большихъ же давленіяхъ является необходимымъ, какъ для уменьшенія толщины листа, такъ и для обезпеченія герметичности, устраивать шовъ *двойной*, въ напускъ. Если же давленіе превосходитъ 200 фунтовъ на □ дюймъ, то и двойной шовъ уже нельзя считать достаточно герметичнымъ и тогда приходится прибѣгать къ устройству двойного шва съ двумя накладками, или даже къ устройству шва *тройного*.

Поперечные швы бываютъ обыкновенно одиночными, и лишь при большихъ давленіяхъ—двойными. Самая форма трубъ бываетъ при этомъ разнообразна. Наиболѣе простой для изготовленія формой является обыкновенное соединеніе двухъ барабановъ путемъ вставки конца одного барабана въ другой (причемъ барабаны могутъ быть или всѣ одной формы, слегка коническіе, или же цилиндрическіе, двухъ различныхъ діамет-

ровъ, какъ въ котлахъ); но такое устройство неудобно въ томъ смыслѣ, что выдающіяся внутрь трубы головки заклепокъ и самый торецъ барабана представляютъ, въ суммѣ, значительное сопротивленіе теченію жидкости въ трубѣ и способствуютъ отложенію на нихъ осадковъ. Поэтому, нѣкоторые заводы употребляютъ расширенную форму поперечнаго соединенія трубъ, видимую на фиг. 12, табл. 81, при которой діаметръ трубы внутри держится все время совершенно одинаковымъ; иногда же, для еще бо́льшей свободы теченія жидкости, раздуваютъ концы обоихъ барабановъ, какъ показано на чер. 132; такое устройство принадлежитъ извѣстной Англійской фирмѣ *Thomas Piggott & Co*, Birmingham. Понятно, что приданіе барабану на концѣ расширенія, какъ это дѣлается при двухъ послѣднихъ соединеніяхъ, является работою сравнительно дорогою, требующею спеціальныхъ машинъ.



Чер. 132.

Расчетъ клепаной желѣзной или стальной трубы производится обычнымъ путемъ, именно: для трубы, наполненной жидкостію — на разрывъ, по формулѣ Маріотта, и для трубы пустой—на сплющиваніе, какъ объяснено ранѣе. Но такъ какъ сопротивленіе желѣза и стали разрыву гораздо болѣе, нежели для чугуна, а діаметръ клепаныхъ трубъ бываетъ обыкновенно великъ, то здѣсь почти всегда мы имѣемъ дѣло съ тѣмъ обстоятельствомъ, что толщина стѣнки, полученная изъ расчета на разрывъ по формулѣ Маріотта, всегда выходитъ *менѣе*, нежели та толщина, которая необходима для того, чтобы пустая труба надежно сопротивлялась сплющиванію отъ давленія грунта, вѣса тяжелыхъ телѣгъ и пр. Поэтому, толщина стѣнки желѣзной или стальной клепаной трубы можетъ быть всегда представлена въ обычномъ (хотя и неправильномъ принципіально) видѣ

$$\delta = \frac{Dp}{2z\eta} + c \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (132),$$

гдѣ:

D есть внутренній діаметръ трубы,
δ „ толщина стѣнки трубы,
p „ давленіе въ трубѣ,
η „ степень прочности заклепочнаго шва,
z „ допускаемое напряженіе на разрывъ матеріала,
c „ прибавка, обусловленная сопротивленіемъ сплющиванію и изнашиваніемъ трубы.

Относительно выбора входящихъ въ эту формулу величинъ можно вкратцѣ сказать слѣдующее.

Коэффиціенты крѣпости матеріаловъ z_0, которые въ настоящее время употребляются для такихъ трубъ, обыкновенно бываютъ въ слѣдующихъ предѣлахъ:

для желѣза . . . . . $z_0 = 50000$ до 60000 фунтовъ на □ дюймъ
(35 до 42 kg/□mm);
для стали . . . . . $z_0 = 55000$ „ 72000 „ „ „ „
(38,5 до 50 kg/□mm).

Допускаемое напряженіе z равно коэффиціенту крѣпости z_0 дѣленному на степень надежности m

$$z = \frac{z_0}{m}.$$

Степень надежности m выбирается обыкновенно въ предѣлахъ между 2 и 5. Здѣсь надобно различать практику разныхъ странъ.

Такъ, Американцы берутъ значительно меньшія степени надежности, нежели Англичане; нѣкоторые Американскіе заводы для *желѣза* берутъ допускаемое напряженіе z въ формулѣ Маріотта равнымъ 16700 фунтовъ на □ дюймъ, а иные идутъ даже до 25000 фунтовъ на □ дюймъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ Американской практики были даже допущены степени надежности равныя 1,5, но это слѣдуетъ, конечно, признать слишкомъ ненадежнымъ и такіе примѣры не заслуживаютъ подражанія.

Въ Европейской практикѣ, на континентѣ и въ Англіи, обыкновенно держатся степени надежности не менѣе *четырехъ*, доводя ее въ болѣе серьезныхъ случаяхъ и до величины пять. Изъ приводимыхъ далѣе примѣровъ различныхъ исполненныхъ трубъ видно, какія въ различныхъ случаяхъ допущены степени надежности.

Величина η, степень прочности заклепочнаго шва, зависитъ, какъ извѣстно, отъ діаметра заклепокъ и отъ шага ихъ, т. е. отъ разстоянія между двумя смежными заклепками. Въ среднемъ, въ практикѣ (напр. для предварительныхъ расчетовъ) можно принимать слѣдующія величины:

одиночный шовъ въ напускъ . . . . . $\eta = 0{,}56$
двойной „ „ „ . . . . . $\eta = 0{,}68$.

Нѣкоторые авторы берутъ эти цифры значительно ниже (напр., данныя инж. *Russel Dunkan*).

Что̀ касается величины прибавки c, или, все равно, расчета трубы на сплющиваніе, то въ этомъ отношеніи до сихъ поръ надежныхъ данныхъ не установлено. Конечно, величина c сильно зависитъ отъ того: на какой глубинѣ лежитъ труба; каковъ ея діаметръ; каковы наиболѣе тяжелыя телѣги, которыя могутъ проѣзжать надъ нею; каковъ грунтъ и пр. Такимъ образомъ, дать прямо величину c не представляется возможнымъ и опредѣленіе ея является вопросомъ очень труднымъ, въ особенности, если діаметръ трубы великъ. Иногда, напр., считаютъ, съ грубымъ приближеніемъ, конечно, что сплющиванію труба сопротивляется въ *два съ половиною раза слабѣе*, нежели разрыву внутреннимъ давленіемъ. Кромѣ того, можно принимать согласно R. Dunkan, что если труба лежитъ на глубинѣ четырехъ діаметровъ *, то давленія проѣзжающихъ тяжелыхъ телѣгъ до нея уже не доходятъ, такъ что опасности сплющиванія отъ нихъ—нѣтъ.

Для приданія трубѣ жесткости въ тѣхъ случаяхъ, когда извѣстно, что она будетъ подвергаться значительнымъ сплющивающимъ дѣйствіямъ, весьма полезно употреблять не клепаныя, а сварныя трубы, составляя трубопроводъ изъ короткихъ кусковъ такихъ трубъ (отъ 4 до 6 футъ длиною) и соединяя ихъ поперечными заклепочными швами, сдѣланными въ стыкъ съ наружными накладками, которыя въ такомъ случаѣ весьма значительно усиливаютъ трубу противъ сплющиванія.

Въ величину c включаютъ обыкновенно еще и прибавку на ржавленіе или изнашиваніе трубы, такъ какъ уменьшеніе толщины трубы одинаково опасно какъ для сопротивленія ея разрыву давленіемъ жидкости, такъ и для сопротивленія сплющиванію. На ржавленіе или изнашиваніе прибавляютъ около 1,5—2 миллиметровъ.

Обратимъ здѣсь еще вниманіе на одно весьма важное обстоятельство, о которомъ сравнительно мало говорится въ технической литературѣ. Дѣло въ томъ, что при устройствѣ заклепочныхъ соединеній котловъ и трубъ, въ томъ случаѣ, если соединеніе производится въ стыкъ съ накладками (одной или двумя — это все равно), необходимо соблюдать слѣдующее правило:

---

* Къ сожалѣнію, въ оригиналѣ не сказано, какъ считать эту глубину, до оси трубы или до ея вершины.

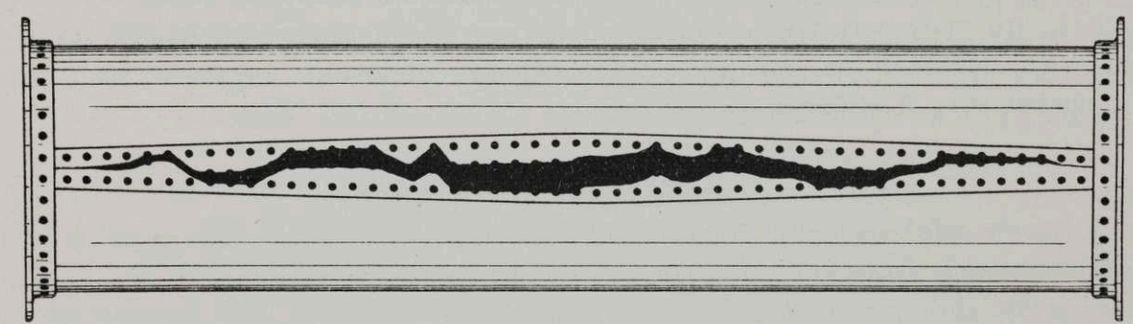
Накладки должны быть непремѣнно вырѣзаемы изъ **котельныхъ** *листовъ и притомъ такимъ образомъ, чтобы направленіе прокатки листа, изъ котораго вырѣзаютъ эти накладки, шло бы по направленію дѣйствія силы, которую эти накладки должны передавать, т. е. въ нашемъ случаѣ котла или трубы, для* **продольныхъ** *швовъ направленіе прокатки накладочнаго листа должно идти по* **окружности** *цилиндра, а для накладокъ* ***поперечныхъ*** *швовъ направленіе прокатки должно идти* ***параллельно оси*** *трубы.*

Никоимъ образомъ не слѣдуетъ допускать, *чтобы накладки изготовлялись изъ полосоваго желѣза или стали, хотя бы по своимъ физическимъ качествамъ желѣзо это и подходило подъ требованія, которыя предъявляются къ листамъ. Такія накладки очень легко могутъ быть разорваны или разслоены силами, дѣйствующими на нихъ по направленіямъ, перпендикулярнымъ къ направленіямъ прокатки.*

Что такіе казусы случаются въ дѣйствительности, показываетъ нижеслѣдующее происшествіе, имѣвшее мѣсто въ Англіи, въ 1892 году.

Отъ насосовъ къ высокому резервуару шла линія стальныхъ клепаныхъ водопроводныхъ трубъ; діаметръ трубъ—26 дюймовъ, толщина стѣнки—$^{7}/_{16}$ дюйма. Каждая отдѣльная труба состоитъ изъ одного листа, длиною 10 футъ, согнутаго въ цилиндръ и склепаннаго по продольному направленію въ стыкъ съ одной наружной накладкой. Толщина накладки — тоже $^{7}/_{16}$ дюйма; шагъ заклепокъ — $2^{1}/_{4}$ дюйма, діаметръ заклепокъ — $^{13}/_{16}$ дюйма; швовъ — одиночный.

Нѣсколько трубъ этой линіи разорвалось при давленіи въ 70 фунтовъ на □ дюймъ, по всей своей длинѣ, такъ, какъ показано на фиг. 133! Такое необыкновенное происшествіе привлекло вниманіе инженеровъ, и такъ какъ котлы разсматриваемаго водо-



Чер. 133.

провода состояли подъ надзоромъ Общества „Manchester Steam Users' Assosiation", то его инженеры сильно заинтересовались происшествіемъ, тѣмъ болѣе, что въ это время дѣлались новые котлы изъ стали, и въ то время (1892 годъ) еще очень боялись этого новаго матеріала, съ которымъ не умѣли обходиться. Изслѣдованіе, произведенное инженерами сказаннаго Общества, выяснило однако, что здѣсь виновата не сама сталь, а главнымъ образомъ то обстоятельство, что накладки были сдѣланы не изъ полосъ, вырѣзанныхъ изъ **котельныхъ** листовъ и расположенныхъ такъ, чтобы разрывающая накладку сила дѣйствовала бы по направленію прокатки, а изъ простого полосового желѣза въ $4^{1}/_{2}$ дюйма шириною. Такія накладки уже ранѣе описываемаго времени были **запрещены** сказаннымъ Обществомъ для котловъ и при изготовленіи котловъ Общество черезъ своихъ инженеровъ слѣдитъ за тѣмъ, чтобы такія накладки не допускались.

Эти накладки изъ полосъ и были главною причиной такого необыкновеннаго разрыва полосы, при которомъ, какъ видно на рисункѣ, ее порвало зигзагами. Но были допущены еще и другіе пороки при изготовленіи сказанныхъ трубъ. Такъ, заклепочныя дыры были **пробиты** а не просверлены, а отжигъ полосъ былъ очень плохой, такъ какъ онѣ отжигались не цѣликомъ въ печахъ, а *по частямъ, въ кузнечномъ горнѣ* (?).

Изъ этого, между прочимъ, видно, какъ опасно поручать изготовленіе крупныхъ вещей маленькимъ заводамъ, не обладающимъ необходимыми для этого приспособленіями. Очевидно, что заводъ, готовившій трубы, не располагалъ надлежащими отжигательными печами и поэтому производилъ отжигъ такимъ непозволительнымъ образомъ, по частямъ, въ кузнечномъ горнѣ.

Все, сказанное до сихъ поръ о прочности клепаной трубы, относится къ трубѣ обычнаго типа, образованной по примѣру котла, съ взаимно перпендикулярными продольными и поперечными швами. Совершенно особый классъ родъ клепаныхъ трубъ представляютъ такъ называемыя *спирально-клепаныя* трубы. У этихъ трубъ нѣтъ ни продольнаго, ни поперечнаго шва; онѣ образуются такимъ образомъ, что изъ котельнаго желѣза изготовляется длинная и узкая полоса, которая затѣмъ свертывается спирально и образовавшійся въ видѣ винтовой линіи стыкъ въ напускъ заклепывается. Такія трубы представляютъ ту выгоду, что у нихъ, благодаря отсутствію продольнаго шва, степень ослабленія листа заклепочными дырами по продольному направленію выходитъ настолько мала, что величину η можно принимать равною единицѣ, а, слѣдовательно, толщина стѣнки такихъ трубъ можетъ быть сдѣлана меньше, нежели у трубъ составленныхъ изъ обыкновенныхъ барабановъ.

§ 61. Соединенія желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубъ.

Желѣзныя и стальныя клепаныя трубы, которыя обыкновенно имѣютъ довольно значительный діаметръ и довольно незначительную толщину стѣнки, соединяются исключительно двумя способами: или при помощи раструбовъ, или же при помощи флянцевъ. Употреблять для соединенія такихъ трубъ муфты на рѣзьбѣ было бы неудобно, вслѣдствіе малой толщины стѣнки трубъ. Послѣ нарѣзыванія рѣзьбы, которая углубится въ стѣнку трубы на глубину AB, останется такая малая толщина стѣнки AC (фиг. 1 табл. 81), что прочность трубы сильно пострадаетъ. Дѣлать же на концѣ трубы утолщенія, какъ показано на той же фигурѣ справа—слишкомъ неудобно, разъ діаметръ трубы превышаетъ 6 дюймовъ.

1). Соединенія флянцами.

Послѣ тѣхъ общихъ соображеній, которыя были приведены ранѣе по вопросу о конструированіи флянцевъ, о соединеніяхъ флянцами желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубъ приходится сказать весьма немногое. Флянцы для соединеній такихъ трубъ бываютъ обыкновенно или литые (чугунные или изъ стального литья) или же тоже изъ фасоннаго желѣза или стали, обыкновенно изъ угольниковъ, иногда же штампованые, какъ на фиг. 8 табл. 81, или разболваненные наподобіе бандажа. Флянцы обыкновенно приклепываются къ трубѣ заклепками. Чугунные флянцы теперь рѣдко употребляются.

Прокладкой при флянцахъ, назначенныхъ для водопроводныхъ трубъ, служитъ обыкновенно или резиновое кольцо, показанное, напр., на фиг. 25, табл. 81, или свинецъ (табл. 81, фиг. 24) или спеціальныя прокладки.

Замѣтимъ тутъ же, что почти совершенно такъ же, какъ клепаныя трубы, соединяются и сварныя трубы, о которыхъ будемъ говорить далѣе.

2). Соединенія раструбами или муфтами.

Замѣтимъ сейчасъ же и здѣсь, что почти все, что̀ будетъ сказано теперь о соединеніяхъ раструбами трубъ клепаныхъ, относится также и къ сварнымъ трубамъ. Различные типы соединеній раструбами клепаныхъ (и сварныхъ) желѣзныхъ и стальныхъ трубъ изображены на табл. 81, фиг. 4, 5, 6, 7, 10 и 11.

Вообще слѣдуетъ замѣтить, что раструбныя соединенія при желѣзныхъ и сталь-

ныхъ трубахъ большого діаметра (какими всегда и бываютъ клепаныя трубы) примѣняются сравнительно рѣдко, во первыхъ потому, что выдѣлка раструба на желѣзной или стальной трубѣ довольна затруднительна, а во вторыхъ и потому, что такія трубы примѣняются, обыкновенно, при довольно высокихъ давленіяхъ, при которыхъ труба рискуетъ быть вырванною изъ раструба продольною силой.

На фиг. 4 табл. 81 представлено соединеніе „*Дунканъ*“. Раструбъ или просто приклепанъ къ лѣвой трубѣ, или же надѣтъ на нее въ горячемъ состояніи съ нѣкоторой относительной расточкой а затѣмъ еще и приклепанъ. Первое достоинство этого способа соединенія по сравненію со способомъ Шульцъ-Кнаудтъ, гдѣ раструбъ выдѣланъ изъ самой трубы (фиг. 2 табл. 77 и фиг. 3 табл. 81) состоитъ въ томъ, что здѣсь раструбъ изготовляется отдѣльно, и, слѣдовательно, можетъ быть сдѣланъ изъ болѣе толстаго, листа, нежели стѣнки самой трубы. Второе достоинство соединенія состоитъ въ томъ, что поверхности прикосновенія конца правой трубы и раструба лѣвой сдѣланы сферическими. Благодаря этому, одна труба относительно другой можетъ имѣть извѣстную подвижность, какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной, вообще, въ произвольной плоскости, какъ и во всякомъ шаровомъ сочлененіи. Слѣдъ сферической поверхности на плоскости чертежа показанъ (не совсѣмъ правильно) въ видѣ круга на фиг. 4.

Дальнѣйшее усовершенствованіе раструба „Дунканъ“ представляетъ соединеніе „*Рилей*“, показанное на фиг. 5. Здѣсь на свободномъ концѣ раструба выдѣланъ загибъ или закраина; закраина эта придаетъ всему раструбу весьма значительную жесткость, очень полезную для сопротивленія огромнымъ усиліямъ, вызываемымъ расчеканкою свинца въ раструбѣ. Этотъ раструбъ приготовляется при помощи штамповки и поэтому получается строго цилиндрическимъ, а кромѣ того и болѣе прочнымъ, нежели сварной раструбъ.

Соединеніе фиг. 6 совершенно подобно тому, которое показано на фиг. 13, табл. 78; только здѣсь роль ввертныхъ штифтовъ, задерживающихъ трубы отъ вырыванія, играютъ вставленныя на концахъ трубъ заклепки. Раструбы заливаются свинцомъ.

Соединеніе фиг. 7 подобно предыдущему, только здѣсь нѣтъ задерживанія трубъ заклепочными головками. Это соединеніе впервые примѣнено было на водопроводѣ Кимберлей въ Африкѣ для сварныхъ трубъ въ 14 и 18 дюймовъ діаметромъ. Оно очень просто, но имѣетъ тотъ недостатокъ, что при немъ трудно укладывать трубы правильно и центрировать ихъ; кромѣ того, при чеканкѣ на одной сторонѣ муфты, легко можно разстроить чеканку на другой, такъ что чеканку слѣдуетъ производить одновременно съ двухъ сторонъ.

На фиг. 18, табл. 113, показано устройство раструба по сист. „*Piggot*“. Раструбъ сдѣланъ изъ одного листа съ трубой и усиленъ приклепаннымъ къ нему въпотай ободкомъ E; задокъ другой трубы оканчивается конусомъ, входящимъ плотно въ раструбъ. Раструбъ забивается пенькой и заливается свинцомъ обычнымъ порядкомъ.

На фиг. 19, табл. 113, представлено раструбное соединеніе для желѣзныхъ или стальныхъ трубъ, наполненныхъ внутри слоемъ цемента. Обыкновенное раструбное соединеніе оказывалось иногда при такихъ трубахъ неудовлетворительнымъ и для достиженія лучшихъ результатовъ и было устроено соединеніе, показанное на фиг. 19, которое примѣнялось для трубъ до 20 дюймовъ діаметромъ. Трубы клепются обычнымъ порядкомъ и затѣмъ ставятся вертикально въ землю въ литейной и вокругъ нижняго конца формуется раструбъ, а затѣмъ форма заливается чугуномъ. Совершенно такъ же на другой трубѣ приливается задокъ.

Относительно соединенія фиг. 10, табл. 81, слѣдуетъ добавить, что оно впервые было примѣнено для трубъ въ 36 дюймовъ діаметромъ, лежащихъ въ морѣ, подъ водою, такъ что соединеніе собиралось подъ водою водолазами.

Нѣкоторыя подробности о желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ трубахъ.

А. Описаніе нѣкоторыхъ исполненныхъ клепаныхъ трубъ.

§ 62. Водопроводъ г. Newark, N. J.

Одною изъ самыхъ раннихъ Американскихъ стальныхъ трубъ большого діаметра была труба водопровода г. *Newark*. Труба эта имѣетъ діаметръ въ 48 дюймовъ и длину около 21 Анг. мили и идетъ изъ водохранилища къ городскому резервуару, лежащему на триста съ лишнимъ футъ ниже ея. Такимъ значительнымъ паденіемъ воспользовались для того, чтобы придать водѣ въ трубопроводѣ большую скорость. Устройство этой трубы представляетъ нѣкоторыя интересныя особенности.

Во первыхъ, труба расчитана, устроена и содержится такъ, чтобы сопротивляться только давленію въ ней, обусловленному исключительно гидравлическимъ градіентомъ (паденіемъ напорной линіи), а не полнымъ гидростатическимъ давленіемъ или напоромъ. Такое состояніе вещей, благодаря которому на стѣнки трубы не передается излишняго давленія, достигается тѣмъ, что теченіе воды черезъ трубу регулируется не задвижками, помѣщенными, какъ обычно, въ концѣ (внизу) трубопровода, а наоборотъ, задвижкой, помѣщенной въ началѣ, *вверху*. Благодаря этому, условія теченія воды въ трубѣ становятся такими, что труба превращается, собственно, въ *каналъ*, въ которомъ вода течетъ какъ бы по открытому руслу, и хотя труба и закрыта кругомъ, но напора въ ней какъ бы нѣтъ. Не малую роль въ успѣшномъ достиженіи цѣли — установленія желаемаго теченія сообразно обстоятельствамъ (перемѣнному расходу воды)—играетъ проведенный вдоль всей линіи телефонъ, при помощи котораго во всякій моментъ можно управлять отъ пріемнаго резервуара дѣйствіями человѣка, стоящаго у задвижки при началѣ трубопровода.

Примѣненіемъ этого принципа устройства къ описываемой трубѣ конструктору удалось съэкономить около 40% въ вѣсѣ трубы, а стало быть, почти столько же и въ ея стоймости.

Во вторыхъ, на всей длинѣ трубопровода *нѣтъ ни одного расширителя*. По соображеніямъ конструктора, которыя и оправдались въ дѣйствительности, трубопроводъ, при тѣхъ небольшихъ предѣлахъ колебаній температуры, которыя ожидались (всего на 45° Фаренгейта, отъ 32° до 77°), будетъ настолько сильно задерживаемъ отъ удлиненія или укороченія треніемъ грунта, что тотъ остатокъ продольной силы, обусловленной нагрѣваніемъ или охлажденіемъ, который передастся на самыя стѣнки трубопровода, вызывая въ поперечныхъ сѣченіяхъ напряженіе сжатія или растяженія, будетъ такъ незначителенъ, что напряженіе это не выйдетъ изъ допустимыхъ предѣловъ и для успѣшнаго его воспріятія всѣми частями трубопровода необходимо позаботиться только о томъ, чтобы самая слабая въ этомъ отношеніи часть его — поперечные швы—была бы сдѣлана достаточно прочной, въ особенности для сопротивленія растяженію. Для достиженія такого же успѣшнаго сопротивленія остатку продольной силы и всѣ части, вставленныя въ трубопроводъ, какъ напримѣръ задвижки, должны быть сдѣланы весьма солидными (въ особенности стѣнки и флянцы ихъ), чтобы онѣ выдерживали дѣйствіе остатка продольной силы.

Эти требованія и выполнены конструкторомъ въ дѣйствительности и трубопроводъ работаетъ вполнѣ исправно, хотя на длинѣ въ 21 милю на немъ нѣтъ ни одного расширителя.

Относительно устройства самой трубы приводимъ слѣдующія данныя.

Спецификаціи требуютъ отъ матеріала слѣдующихъ качествъ. Коэффиціентъ крѣпости на разрывъ отъ 55000 до 67000 фунтовъ на □ дюймъ, измѣренный на образцѣ 8 дюймовъ длиною и $1^1/_2$ дюйма шириною. Предѣлъ упругости не менѣе 30000 фунтовъ на □ дюймъ. Для листовъ съ толщиною $^3/_8$ дюйма и болѣе, удлиненіе по продольному направленію листа не менѣе 25% и по поперечному—не менѣе 22%. Для листовъ тоньше $^3/_8$ дюйма, по продольному направленію—удлиненіе не менѣе 22,5% и по поперечному—не менѣе 20%.

Полоска 6 дюймовъ длиною и 1 шириною должна складываться въ холодномъ состояніи подъ молотокомъ плоско вдвое безъ трещинъ.

Испытаніямъ должны подвергаться 20% всѣхъ листовъ, выбираемые на удачу.

Сталь должна содержать фосфора не болѣе 0,06%, сѣры не болѣе 0,06% и марганца не болѣе 0,6%.

Сталь должна быть Сименсъ-Мартеновская.

Благодаря такимъ высокимъ требованіямъ, предъявленнымъ къ матеріалу, дыры въ листахъ были пробиваемы, а не получаемы сверленіемъ.

Клепка на заводѣ производилась гидравлическими машинами; заклепки были стальныя, Мартеновской стали, съ коэффиціентомъ крѣпости на разрывъ отъ 57000 до 63000 фунтовъ на □ дюймъ и съ предѣломъ упругости не менѣе 30000 фунтовъ на □ дюймъ.

Полевая клепка (на мѣстѣ) производилась отъ руки, ж е л ѣ з н ы м и заклепками, которыхъ коэффиціентъ крѣпости на разрывъ равенъ 55000 фунтамъ на □ дюймъ, а предѣлъ упругости не менѣе 27500 фунтовъ на □ дюймъ.

Съ завода на мѣсто трубы привозятся въ видѣ секцій около 27 футъ длиною, состоящихъ по длинѣ изъ четырехъ барабановъ; каждый барабанъ состоитъ изъ одного листа; барабаны цилиндрическіе, двухъ разныхъ діаметровъ, идутъ въ перемежку. Всѣ детальные размѣры трубъ видны изъ нижеслѣдующей таблицы:

Таблица размѣровъ 48-дюймовой трубы водопровода г. Newark.

Длины всѣ выражены въ Англ. дюймахъ.

Размѣры листовъ и заклепокъ.

Номинальный діаметръ трубы	48	48	48
Толщина листовъ	$^1/_4$	$^5/_{16}$	$^3/_8$
Размѣры большихъ листовъ	$154^3/_4 \times 84$	$155^3/_8 \times 84$	$156^1/_{16} \times 84$
Размѣры малыхъ листовъ	$158^1/_8 \times 84$	$153^1/_4 \times 84$	$153^5/_8 \times 84$
Внутренній діаметръ большаго барабана	48	48	48
Внутренній діаметръ меньшаго барабана	$47^1/_2$	$47^3/_8$	$47^1/_4$
Діаметръ заклепокъ	$^5/_8$	$^3/_4$	$^7/_8$
Діаметръ дыръ для заклепокъ	$^{11}/_{16}$	$^{13}/_{16}$	$^{15}/_{16}$

Размѣры поперечныхъ швовъ.

Число заклепокъ въ одномъ швѣ	100	84	76
Окружность большихъ листовъ	151,582	151,779	151,975
Окружность малыхъ листовъ	149,895	149,717	149,538
Шагъ заклепокъ въ большомъ листѣ	1,515	1,807	2,053
Шагъ заклепокъ въ маломъ листѣ	1,498	1,782	2,020
Разстояніе отъ центра заклепки до края листа	1	$1^3/_{16}$	$1^3/_8$
Напускъ листовъ въ поперечномъ швѣ	2	$2^3/_8$	$2^3/_4$

Размѣры продольныхъ швовъ.

Число заклепокъ въ первомъ ряду	35	29	25
Число заклепокъ во второмъ ряду	34	28	24
Шагъ заклепочнаго шва въ обоихъ рядахъ . .	2,277	2,721	3,125
Разстояніе между рядами	$1^1/_{16}$	$1^3/_{16}$	$1^5/_{16}$
Діагональный шагъ	1,557	1,806	2,041
Разстояніе отъ центральной линіи перваго ряда до края листа	$^{15}/_{16}$	$1^5/_{32}$	$1^{11}/_{32}$
Напускъ листовъ	3	$3^1/_2$	4

Въ противоположность старинной практикѣ, принятой въ Калифорніи, гдѣ въ полѣ несутся: комаръ, ножницы и загибные вальцы, и закругленія линіи дѣлаются тутъ же, на мѣстѣ, въ настоящемъ случаѣ было установлено только четыре нормальныхъ скошенныхъ части, при по-

мощи которыхъ и можно было составлять повороты линіи на 2,5°; 5°; 7,5° и 10 градусовъ. Иныхъ не допускалось. Такимъ образомъ, вся труба была на заводѣ закончена, собрана и всѣ ея части перенумерованы, такъ что на мѣстѣ оставалось только класть ее въ канаву согласно чертежу и нумераціи, и клепать.

Такъ какъ извѣстно, что для того, чтобы асфальтировка дѣйствительно спасала трубы отъ ржавчины, необходимо, чтобы передъ самой асфальтировкой онѣ никоимъ образомъ не начали уже ржавѣть, то были приняты самыя строгія мѣры къ тому, чтобы при перевозкѣ листовъ съ прокатнаго завода (Homestead) въ мастерскую трубнаго завода (Paterson), гдѣ трубы готовились, листы сохранились бы чистыми и блестящими и не подвергались бы вреднымъ окисляющимъ вліяніямъ. Но это оказалось не такъ то легко сдѣлать. Такъ напримѣръ, пробовали покрывать листы парафиномъ по выходѣ ихъ изъ прокатки, но это пришлось бросить, такъ какъ такіе сальные листы невозможно было пропускать сквозь вальцы для сгибанія ихъ. Въ концѣ концовъ пришлось заказать сорокъ спеціальныхъ вагоновъ только для перевозки этихъ листовъ. Это были новые угольные вагоны, надъ которыми приспособили подвижную подъемную плоскую крышу, закрывавшую листы. Подъ поднятой этой крышей производилась нагрузка и разгрузка листовъ и это средство оказалось дѣйствительнымъ: листы не успѣвали еще заржавѣть какъ трубы уже клепались и шли въ асфальтировку. Ванна для асфальтировки состояла изъ чистаго Калифорнскаго асфальта. Труба погружалась въ смѣсь послѣдовательно два раза.

Передъ укладкой двѣ 27-футовыя секціи склепывались на землѣ вмѣстѣ и затѣмъ уже эта 54-футовая секція опускалась въ канаву. Въ канавѣ склепываніе этихъ длинныхъ секцій производилось такимъ образомъ, что верхняя половина поперечнаго шва клепалась снаружи, а нижняя— изнутри. По мѣрѣ клепки трубопроводъ сейчасъ же засыпался землею (канава заполнялась) для того, чтобы въ немъ не происходило бы безполезныхъ сокращеній и удлиненій отъ измѣненія температуры. Чтобы рабочіе не сдирали слоя асфальтировки, трубу закрывали парусиной, ковриками и т. п. Рабочіе (клепальщики и др.) носили резиновыя калоши. Всѣ обнаженныя при перевозкѣ и укладкѣ мѣста трубъ немедленно покрывались слоемъ покрышки, извѣстной подъ именемъ „P & B paint“.

На трубопроводѣ имѣются лазы (черезъ каждые 1000 футъ), спускные краны, воздушные краны и пр., но въ эти подробности мы не имѣемъ возможности входить здѣсь, отсылая интересующихся къ оригинальной статьѣ („Engineering News, 1893 г., July 13).

———*———

§ 63. Стальныя трубы водопровода города Syrakuse, N. Y., въ Америкѣ.

Для снабженія водою сказаннаго города рѣшено было взять воду изъ озера Skaneateles, расположеннаго на разстояніи около 20 Анг. миль отъ города. Изъ точки озера, удаленной отъ берега на 6410 футъ, вода берется при помощи стальной клепаной подводной трубы, имѣющей внутренній діаметръ въ 54 дюйма, а отъ конца этой трубы, выходящаго въ сборный резервуаръ съ заслонками, вода ведется въ городъ на разстояніи 20 миль гравитаціонной 30-дюймовой клепаной трубой. Наибольшій интересъ представляетъ подводная труба, которую мы здѣсь и опишемъ подробно.

Трубопроводъ этотъ построенъ въ 1893 — 1894 годахъ. Подводная линія состоитъ изъ стальной клепаной трубы и имѣетъ въ длину около 6400 футъ. Шовъ — одиночный. Внутренній діаметръ трубы—54 дюйма. Толщина листовъ—$^3/_8$ дюйма, вѣсъ ихъ—15 фунтовъ на □ футъ.

Каждый листъ имѣетъ ширину въ 6 футъ и такую длину, чтобы изъ него можно было согнуть трубу требуемаго діаметра и еще имѣлся бы напускъ листовъ въ $2^1/_2$ дюйма. Пять такихъ барабановъ, каждый съ длиною 6 футъ, дѣлаются всѣ слегка коническими и вставляются другъ въ друга концами, телескопически, и затѣмъ склепываются, такъ что образуется звено или секція, имѣющая въ длину 29 футъ 2 дюйма. Кромки и продольныхъ и поперечныхъ швовъ, и внутри и снаружи, скашиваются и расчеканиваются молоткомъ, такъ чтобы швы были герметичны, подобно котельнымъ, безо всякихъ прокладокъ.

Такія секціи пробуются и затѣмъ асфальтируются асфальтомъ, послѣ чего перевозятся къ мѣсту назначенія и здѣсь на берегу четыре такихъ секціи склепываются вмѣстѣ, образуя новую, *большую* секцію (вѣтвь) съ длиною въ 116 футъ. На одинъ конецъ такой большой секціи приклепывается кольцо изъ стальной полосы $2^5/_8 \times {}^3/_4$ дюйма сѣченіемъ, образующее буртикъ (табл. 82, фиг. 1 и 2), на конецъ же слѣдующей секціи приклепывается чугунный раструбъ, видимый тамъ же; изъ этого раструба торчатъ крючковидные болты, сѣченіемъ $1 \times {}^7/_8$ дюйма, которыхъ концы свободно входятъ между оконечностью раструба и трубой, упираясь въ буртикъ не непосредственно, а при посредствѣ свинцоваго кольца, сдѣланнаго изъ мягкой свинцовой трубы. Такихъ болтовъ

раструбъ имѣетъ 20 штукъ. Послѣ затяжки болтовъ свинцовая трубка даетъ соединенію герметичность.

На всей сказанной длинѣ линіи (6400 футъ) имѣется въ ней *семь* шаровыхъ сочлененій, показанныхъ на фиг. 1 табл. 82. Въ противоположность конструкціи, изображенной на табл. 63, фиг. 1—2, здѣсь наружная шаровая часть сдѣлана изъ листовой стали, и только внутренняя изъ чугуна. Подробное описаніе этого сочлененія излишне. Все понятно изъ чертежа.

Листы для трубъ должны быть изъ мягкой стали и имѣть коэффиціентъ крѣпости на разрывъ отъ 55000 до 65000 фунтовъ на □ дюймъ. Всѣ листы должны выдерживать пробу на пробивку ряда дыръ $^3/_4$ дюйма въ діаметрѣ, съ разстояніями между центрами въ $1^1/_4$ дюймъ, безъ трещинъ; они должны выдерживать также раздачу до діаметра, въ 1,3 раза бо́льшаго противъ первоначальнаго, ряда пробитыхъ дыръ, центры которыхъ отстоятъ на два діаметра отъ края листа, и на три діаметра другъ отъ друга, безъ появленія трещинъ.

Полоски, вырѣзанныя изъ листовъ, какъ вдоль, такъ и поперекъ, должны сгибаться вдвое и складываться подъ молоткомъ въ плоскость въ холодномъ состояніи безъ трещинъ. Листы должны быть достаточно тягучи и гибки для того, чтобы края ихъ можно было, въ мѣстахъ напуска, оттягивать въ холодномъ видѣ въ тонкую оконечность безъ трещинъ; листы должны свертываться въ цилиндръ потребнаго діаметра безъ появленія трещинъ между заклепочными дырами и на краяхъ листовъ;

Листы съ мѣста прокатки (заводъ Carnegie, Phipps & Co., Homestead) перевозились на клепальный заводъ на плоскихъ вагонахъ, снабженныхъ крышею для защиты листовъ отъ дождя. Снятыя съ вагона листы обкернивались вручную по тщательно изготовленнымъ шаблонамъ, затѣмъ въ нихъ пробивались дыры и они переходили на кантовальную машину, которая обрѣзывала обѣ кромки по кривымъ, такъ, что, послѣ загиба листа, окружности, которыми оканчивается конусъ на обоихъ концахъ, были перпендикулярны къ оси трубы и имѣли діаметры: одна—54 дюйма, а другая—$54^3/_4$ дюйма.

Края листовъ въ мѣстѣ напуска оттягиваютъ затѣмъ молоткомъ въ тонкій край и листы идутъ въ загибную машину, гдѣ вальцы расположены такъ, что листъ загибается до надлежащаго діаметра. Въ такомъ состояніи листы временно удерживаются болтами, въ ожиданіи клепки. Клепка производится на двухъ ручныхъ телѣжкахъ, стоящихъ на двухъ параллельныхъ рельсовыхъ путяхъ, уложенныхъ на такомъ разстояніи другъ отъ друга, что между ними только что съ удобствомъ можетъ помѣститься и работать человѣкъ, причемъ во время работы барабаны лежатъ на телѣжкахъ. Надъ путями подвѣшена клепальная пневматическая машина Аллена, могущая ходить взадъ и впередъ. Какъ только склепанъ продольнымъ швомъ барабанъ, лежащій, положимъ, на телѣжкѣ № 1, клепальную машину передвигаютъ къ телѣжкѣ № 2, а въ это время сборщики устанавливаютъ новый барабанъ на телѣжку № 1. Такъ поступаютъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ склепана секція изъ пяти 6-футовыхъ барабановъ, получающая длину въ 29 футъ 2 дюйма. Послѣ этого секціи эти помѣщаютъ на бревнахъ, въ другой части мастерской, и здѣсь производится чеканка швовъ пневматическимъ молоткомъ и трубы тщательно очищаются отъ грязи и всякихъ осадковъ. Затѣмъ онѣ осматриваются и идутъ въ асфальтировку.

Бакъ для асфальтировки сдѣланъ изъ стальныхъ листовъ въ $^1/_4$ дюйма толщиною, имѣетъ въ длину 31 футъ, въ ширину—$5^1/_2$ футъ и въ глубину—$5^1/_2$ футъ. Дно у него закругленное и на немъ придѣланы ролики, для того, чтобы трубу удобно было внутри ванны проворачивать. Бакъ стоитъ на кирпичной печкѣ съ обыкновенной колосниковой рѣшеткой, на которой горятъ дрова.

Асфальтирующая масса состоитъ изъ смѣси сухого асфальта фирмы Los Angeles Oil Burning Supply Co., сортъ *D*, и изъ жидкаго асфальта той же фирмы, сортъ *G*. При началѣ погруженія въ ванну необходимо употреблять три части *D* на одну часть *G*, но, разъ дѣло пошло, необходимо прибавлять только сорта *G*. Надлежащая температура ванны опредѣлялась слѣдующимъ опытомъ. Въ кипящую массу погружаютъ полоску листовой стали $^3/_8$ дюйма толщиною, имѣющую величину около 6 дюймовъ въ квадратѣ, и держатъ ее въ ваннѣ около 10 минутъ, послѣ чего вытаскиваютъ и тотчасъ же охлаждаютъ ее въ ледяной водѣ. Если при этомъ слой покрышки не трескается и не слетаетъ прочь съ полоски при ударахъ по ней молоткомъ, и не размякаетъ при температурѣ въ 100 градусовъ Фаренгейта, то можно считать температуру ванны подходящею для работы.

Трубы совершенно погружаются въ кипящую смѣсь и остаются тамъ самое меньшее 20 минутъ, или вообще столь долго, чтобы сталь трубъ приняла температуру смѣси, которая не должна быть менѣе 280° Фаренгейта. Послѣ этого труба вытаскивается, слою покрышки даютъ немного подсохнуть и затѣмъ еще разъ не на долго погружаютъ трубу въ ванну, чтобы утолстить слой покрышки.

Трубы подымаются и опускаются при помощи деррика (крана). Для хорошей асфальтировки одной секціи въ 29 футъ всего требуется 45 минутъ времени.

Для опусканія трубъ въ воду былъ построенъ весьма тяжелый и солидный плотъ (catamaran), длиною въ 96 футъ, шириною въ 30 футъ и высотою въ 6 футъ. Онъ состоитъ изъ двухъ

параллельныхъ частей, каждая длиною въ 96 футъ и шириною въ 12 футъ. Бока и оконечности каждой такой части сдѣланы цѣликомъ изъ дубовыхъ бревенъ 6 × 12 дюймовъ, помѣщенныхъ одно на другое и схваченныхъ болтами. Эти двѣ параллельныя части помѣщены одна отъ другой на разстояніи 6 футъ и удерживаются въ такомъ положеніи пятью дубовыми брусьями 12 × 14 дюймовъ. Каждая часть покрыта поломъ изъ досокъ, промежутокъ же въ 6 футъ между двумя половинами плота оставленъ открытымъ.

Надъ этимъ промежуткомъ пристроены три бревенчатыхъ поддержки для подъемныхъ блоковъ, на которыхъ и виситъ подлежащая опусканію большая секція длиною въ 116 футъ.

Опусканіе трубъ было начато съ двухъ мѣстъ. Во первыхъ, съ средины озера, отъ того мѣста, гдѣ забирается вода и въ заборномъ опущенномъ въ воду колодцѣ (intake crib) помѣщается начало трубопровода, имѣющее раструбъ. Колодецъ этотъ тоже опускается съ плота. Послѣ его установки и загрузки каменнымъ балластомъ, скатываютъ съ берега по бревнамъ въ воду первую большую секцію, концы которой закрыты промасленной парусиной, такъ что секція плаваетъ. Секцію втягиваютъ въ промежутокъ между двумя половинками плота, гдѣ къ ней прикрѣпляютъ деревянное сѣдло изъ бревенъ, и подвѣшиваютъ ее на канатахъ.

Для спусканія трубы снимаютъ парусину съ концовъ, труба наполняется водою и поддерживаемая канатами, постепенно спускается на дно озера. Пока канаты еще не сняты, водолазы вставляютъ задокъ съ приклепаннымъ буртикомъ въ раструбъ, ставятъ болты и затягиваютъ ихъ, такъ что свинцовое кольцо расплющивается, какъ сказано выше. Вторую большую секцію соединяютъ съ первой и т. д.

Во вторыхъ, совершенно подобнымъ же образомъ, велась укладка и отъ берега, навстрѣчу къ первой части трубопровода. Такъ какъ напередъ невозможно было расчитать точно длину трубъ, то тамъ, гдѣ обѣ части встрѣтились, остался небольшой перерывъ, который и былъ сомкнутъ при помощи особой, спеціально изготовленной муфты, показанной на табл. 118, фиг. 10 *Атласа*.

Въ день успѣвали уложить одну большую секцію въ 116 футъ длиною.

Полная стоймость стальной трубы, включая сюда и шаровыя сочлененія, съ доставкой къ озеру, составляетъ 8,8 доллара на одинъ футъ длины, а стоймость укладки ея въ озеро — 2,5 доллара на одинъ футъ длины. (Подробности см. „Engineering News“, 1893 г., June 15).

Что̀ касается водовода, который ведетъ воду отъ озера въ городъ, то всѣ, весьма интересныя, подробности относительно его укладки можно найти въ „Engineering News“ за 1894 годъ, 13 Декабря. Мы здѣсь ограничимся только тѣмъ, что укажемъ различныя толщины, приданныя этому водоводу въ разныхъ мѣстахъ въ зависимости отъ постепеннаго увеличенія напора.

Толщина стѣнокъ 30-дюймоваго стального водовода водопровода г. Syracuse.

Наибольшій напоръ въ футахъ:	Толщина стѣнки трубы въ дюймахъ:
165	$^{7}/_{8}$
205	$^{15}/_{16}$
255	1
295	$1^{1}/_{16}$
335	$1^{1}/_{8}$
375	$1^{3}/_{16}$
415	$1^{1}/_{4}$
460	$1^{5}/_{16}$
475	$1^{3}/_{8}$

§ 64. Водопроводъ города Rochester, въ Америкѣ.

Въ 1894 году въ городѣ Рочестерѣ окончена укладка линіи стальныхъ клепаныхъ трубъ, ведущихъ воду изъ озера Hemlock въ городъ, на разстояніе около 29 Англ. миль. Вода берется изъ средины озера подводной стальной клепаной трубой въ 60 дюймовъ діаметромъ и 1600 футъ длиною; затѣмъ на протяженіи около 12000 футъ вода идетъ по кирпичному туннелю въ 6 футъ и затѣмъ по 38-дюймовой стальной клепаной трубѣ, имѣющей длину около 26,5 Англ. миль, доходитъ до города естественнымъ напоромъ (гравитаціонная линія). Главный инженеръ постройки Kuichling далъ подробное описаніе всего устройства, изъ котораго мы заимствуемъ то интересное, что̀ относится къ трубамъ (подробности —„Engineering News“, 1895 г., April 11).

Подводная линія состоитъ изъ секцій, длиною въ 30 футъ, которыя привозятся готовыми съ завода. На берегу три такихъ секціи склепываются вмѣстѣ и къ нимъ приклепывается шаровое сочлененіе *, такъ что получается труба около 100 футъ длиною и около 14—18 тоннъ вѣсомъ.

* число такихъ сочлененій на всей длинѣ подводной линіи не указано. Надо догадываться, что ихъ около 16 штукъ.

Первыя восемь 30-футовыхъ секцій, начиная отъ берега, имѣютъ толщину стѣнокъ въ $^3/_8$ дюйма и усиливаются восемью кольцами изъ углового желѣза $3 \times 3^1/_2 \times {}^1/_2$ дюйма, приклепанными на срединѣ каждой наружной подсекціи; длина барабановъ, изъ которыхъ состоятъ секціи (считаемая между центрами заклепочныхъ дыръ крайнихъ рядовъ) равна 6 футамъ, такъ что секція состоитъ изъ 5 барабановъ. Толщина стѣнокъ остальныхъ секцій—$^5/_{16}$ дюйма.

Шаровое сочлененіе показано детально на табл. 82 *Атласа*, фиг. 5—6.

Вся эта подводная линія уложена прямо на дно озера, состоящее въ этомъ мѣстѣ изъ глины. Секціи опускались въ воду съ шаландъ.

У каждаго шароваго сочлененія забито въ дно вдоль трубопровода по два ряда свай, по шести штукъ въ ряду, съ каждой стороны трубы, на разстояніи около 14 футъ; на высотѣ $10^1/_2$ футъ надъ уровнемъ воды на нихъ надѣтъ ростверкъ и настлана платформа, а между собой сваи схвачены солидными раскосами.

Подъ шаровыя сочлененія, передъ опусканіемъ ихъ, подводились платформы изъ брусьевъ, на которыхъ они и садились на дно; безъ такого фундамента сочлененіе провалилось бы въ мягкую глину.

Относительно гравитаціонной линіи въ 38 дюймовъ діаметромъ приводимъ слѣдующія данныя.

Заказъ на изготовленіе этой линіи трубъ былъ раздѣленъ пополамъ между двумя заводами, именно: East Jersey Pipe Works, Paterson, N. J. и Rochester Bridge & Iron Works.

Спецификаціи требуютъ, чтобы трубы были изъ мягкой Сименсъ-Мартеневской стали, содержащей не болѣе 0,6% марганца и не болѣе 0,06% фосфора, и имѣющей коэффиціентъ крѣпости на разрывъ отъ 55000 до 65000 фунтовъ на □ дюймъ; предѣлъ упругости не менѣе 30000 фунтовъ на □ дюймъ и удлиненіе въ $22^1/_2$% на длинѣ 8 дюймовъ. Пробы на загибъ, пробивку и т. п. требуются, но подробностей въ оригиналѣ нѣтъ. Всѣ листы, имѣющіе хотя бы всего въ одной лишь точкѣ толщину, меньшую нежели 0,95 нормальной, *бракуются безъ всякихъ разговоровъ*. Относительно самихъ трубъ и асфальтировки Kuichling приводитъ слѣдующія свѣденія и соображенія.

Такъ какъ труба составляетъ одно жесткое тѣло, ибо она не имѣетъ никакихъ расширителей и компенсаторовъ, то при измѣненіи температуры труба наша, вмѣсто свободнаго удлиненія, подвергнется напряженіямъ матеріала, вслѣдствіе невозможности такого расширенія. Эти напряженія не выходятъ изъ предѣловъ упругости матеріала, такъ какъ колебанія температуры въ нашемъ случаѣ незначительны, но при этомъ необходимо придать, въ поперечныхъ швахъ трубы, равную крѣпость—заклепкамъ на срѣзъ и листамъ въ чистомъ поперечномъ сѣченіи на разрывъ. Это принято во вниманіе при проектированіи швовъ. Для того, чтобы концы трубопровода оставались неподвижными, они задѣланы въ солидные каменные массивы. Подобныя же предосторожности приняты и при проектированіи всѣхъ задвижекъ и колѣнъ линіи, которыя имѣютъ толщину стѣнокъ и флянцевъ настолько значительную, что ихъ прочность во много разъ превышаетъ прочность самой трубы, съ которою онѣ свертываются весьма толстыми болтами.

Планы и профили линіи были сдѣланы въ большомъ масштабѣ, на нихъ нанесены подробно трубы и всѣ уклоненія отъ прямой линіи ясно указаны, послѣ этого планы были переданы заводу. Трубы должны быть устроены такъ, чтобы всѣ прямые швы приходились бы въ верхней четверти окружности.

Трубопроводъ составленъ изъ цилиндрическихъ барабановъ, поперемѣнно бо́льшаго и меньшаго діаметра на двойную толщину листа, такъ что барабаны концами входятъ одинъ въ другой. Внутренній діаметръ меньшихъ барабановъ составляетъ ровно 38 дюймовъ, а чистая длина барабана (считаемая между центрами заклепочныхъ дыръ на конечныхъ поперечныхъ швахъ) мѣняется отъ 6,83 до 6,75 фута, въ зависимости отъ толщины листовъ.

Трубы готовились четырехъ разныхъ родовъ, изъ листовъ трехъ различныхъ толщинъ, въ зависимости отъ давленія, которому онѣ будутъ подвергаться въ работѣ линіи. Для статическаго напора менѣе 120 футъ толщина листовъ берется $^1/_4$ дюйма и продольные или прямые швы дѣлаются о д и н о ч н ы м и. Для напоровъ отъ 120 до 153 футъ берется та же толщина листовъ, но продольные швы дѣлаются д в о й н ы м и. Для напоровъ между 153 и 199 футами толщина листовъ берется $^5/_{16}$ дюйма, и наконецъ, для напоровъ между 199 и 263 футами толщина берется $^3/_8$ дюйма; въ обоихъ послѣднихъ родахъ трубъ продольные швы—д в о й н ы е.

Всѣ поперечные швы—одиночные, исключая тѣхъ мѣстъ, гдѣ соединяются трубы двухъ разныхъ родовъ; въ этихъ мѣстахъ у болѣе тонкой трубы, на протяженіи 200 футъ отъ мѣста встрѣчи, поперечные швы дѣлаются двойными, включая сюда и самый шовъ, соединяющій толстую трубу съ тонкой. Цѣль этого та, чтобы сдѣлать степень прочности двойного поперечнаго шва болѣе тонкой трубы приблизительно одинаковою съ таковою же одиночнаго поперечнаго шва болѣе толстой трубы, такъ какъ было высчитано, что на упомянутомъ протяженіи тренія земли о трубу, послѣ того какъ канава будетъ надлежащимъ образомъ засыпана, будетъ достаточно для того, чтобы уравновѣсить равнодѣйствующую продольныхъ силъ, появляющихся въ обоихъ родахъ трубъ при крайнихъ предѣлахъ измѣненія температуры готовой линіи, наибольшее колебаніе которой при-

нято равнымъ 45° Фаренгейта. Поэтому каждый родъ трубъ можно разсматривать какъ достаточно крѣпко ущемленный въ землѣ, исключая лишь сказанное разстояніе *.

Секціи доставлялись съ завода обыкновенно составленными по длинѣ изъ четырехъ барабановъ и имѣющими при этомъ длину въ 27⅓ фута; всѣ швы тщательно чеканятся внутри и снаружи. Измѣненія въ направленіи трубы, въ произвольной плоскости, достигались легкою коничностію, которую придавали, на одномъ концѣ только, столькимъ барабанамъ, сколько требовалось для полученія требуемой кривой или угла. Для того, чтобы избѣжать большого числа шаблоновъ, была принята одна нормальная коничность въ 2° 43,5′, соотвѣтствующая разницѣ въ 1,806 дюйма у діаметра въ 38 дюймовъ и, насколько было возможно, этой коничности и придерживались во всей линіи. При такомъ отклоненіи оказалось еще возможнымъ безъ затрудненій получать хорошіе поперечные швы не прибѣгая къ фланжировкѣ или выбиванію молоткомъ концевъ барабановъ. Если иногда требовалось меньшее отклоненіе, то прибѣгали къ спеціальной модели; отклоненія же менѣе нежели на ⅓° легко получались путемъ простого развертыванія заклепочныхъ дыръ поперечныхъ швовъ разверткой на противоположныхъ сторонахъ.

Вышеупомянутая нормальная коничность, дѣлаемая на концѣ каждаго четвертаго барабана, даетъ правильный многоугольникъ, близко подходящій къ кривой въ 10°; дѣлая ту же коничность на концѣ каждаго второго барабана, получаемъ кривую въ 20° 8′; если дѣлать ее у каждаго барабана, то это даетъ кривую въ 41° 9,75′. Радіусы этихъ кривыхъ будутъ соотвѣтственно: 573,7 ; 286,1 и 142,2 фута. Всѣ измѣненія въ направленіи и уклонѣ линіи дѣлались сообразно этимъ тремъ кривымъ. Вообще, измѣненій въ уклонѣ старались по возможности избѣгать, хотя въ нѣкоторыхъ мѣстахъ этого избѣжать было нельзя, иначе пришлось бы производить слишкомъ большія работы по выемкѣ грунта.

Немедленно послѣ склепыванія и чеканки труба тщательно очищалась, нагрѣвалась въ печи до 300° Фаренгейта и затѣмъ для асфальтированія погружалась въ бакъ съ горячей смѣсью, гдѣ оставалась столько времени, сколько нужно для того, чтобы температура металла сдѣлалась равной температурѣ смѣси. Послѣ этого труба вынималась изъ ванны и излишку смѣси давали стечь. На двухъ разныхъ заводахъ, гдѣ изготовлялись трубы, асфальтировка производилась различно. На заводѣ East Jersey Pipe Works брался для покрышки трубъ чистый асфальтъ и поэтому прямо изъ ванны труба клалась на бревна, и покрышка медленно застывала при постепенномъ охлажденіи, на заводѣ же Rochester Bridge & Iron Works асфальтировка производилась по особому способу профессора Сабина (Prof. A. H. Sabin japaning process) и здѣсь труба прямо изъ ванны помѣщается въ большую кирпичную печь, гдѣ и поддерживается втеченіи десяти часовъ при очень высокой температурѣ.

Послѣ многихъ лѣтъ тщетныхъ поисковъ хорошей асфальтировки для стальныхъ трубъ, инженеръ Kuichling, передъ постройкой описываемой трубы, обратился къ спеціалисту, химику, проф. Sabin, работающему у фирмы Edward Smith & Co., занимающейся изготовленіемъ лаковъ. Ввиду того, что опыты проф. Sabin затянулись, а та часть трубъ, которая была заказана заводу East Jersey Pipe Works, была уже готова, этому заводу разрѣшили производить асфальтировку простымъ Калифорнскимъ асфальтомъ, который брался самаго лучшаго качества. Но оказалось, что на воздухѣ слой, покрывающій трубы, быстро тускнѣетъ и отстаетъ отъ листовъ, осыпаясь во время перевозки и укладки и т. п. Ввиду этого стали покрывать трубы смѣсью очищеннаго Тринидадскаго асфальта и лучшей каменноугольной смолы; эта смѣсь оказалась лучше, но и она была далеко не удовлетворительна, осыпалась и была не вязка.

Когда заводъ этотъ почти уже окончилъ всю свою часть трубъ, проф. Sabin нашелъ смѣсь, которая, по его мнѣнію, могла быть рекомендована для покрышки трубъ и поэтому второму заводу, Rochester Bridge & Iron Works, и было приказано примѣнить эту смѣсь. Насколько можно судить по тому, что было къ моменту написанія переводимой здѣсь статьи Kuichling'a, смѣсь Сабина оказалась гораздо лучше прежнихъ асфальтировокъ. Рецептъ смѣси, къ сожалѣнію, не указанъ. Она скорѣе представляетъ изъ себя родъ Японскаго лака. Передъ погруженіемъ въ нее трубы нагрѣвались въ горизонтальной печи, по три сразу. Послѣ вынутія изъ ванны, какъ уже сказано, секція (28 футъ длиною) обжигается въ кирпичной печи, гдѣ, по словамъ Сабина, должна поддерживаться температура отъ 500 до 600 градусовъ Фаренгейта.

На *самое осторожное обращеніе съ трубами во время перевозки* по желѣзной дорогѣ и на телѣгахъ было обращено серьезнѣйшее вниманіе, и приняты всѣ мѣры, чтобы не повредить какъ нибудь слоя асфальтировки. Для этой цѣли всѣ цѣпи, подушки и подкладки, которыя приходятъ въ соприкосновеніе съ трубой, были покрываемы старыми резиновыми рукавами, парусиной или же ковриками, и то мѣсто, гдѣ складывались трубы, предварительно было тщательно очищаемо

---

* Мы должны признаться, что соображеніе это, хотя изложенное въ оригиналѣ и въ очень ясныхъ выраженіяхъ, представляется намъ весьма туманнымъ съ точки зрѣнія механики того процесса, о которомъ говоритъ почтенный авторъ, инженеръ Kuichling. *А. С.*

отъ камней. Если бы эти предосторожности не были приняты, то непремѣнно во время перевозки и послѣдующей склепки трубъ происходило бы ржавленіе тѣхъ мѣстъ, гдѣ слой асфальтировки оказался бы содраннымъ. Слѣдуетъ также упомянуть, что во время склепыванія секцій на мѣстѣ на верхней части наружной поверхности трубъ лежала покрышка изъ парусины или матовъ; такая же покрышка лежала и внутри трубы, на днѣ ея; всѣ рабочіе, которые входили внутрь трубы, должны были надѣвать калоши изъ резины или *мягкаго* войлока *.

Всякое обнажившееся отъ слоя асфальтировки мѣсто трубы должно быть какъ можно скорѣе покрыто вновь предохранительнымъ слоемъ и таковымъ служила во время работъ, за неимѣніемъ лучшей, асфальтирующая смѣсь, извѣстная подъ названіемъ „P. & B. paint“. Это очищенный асфальтъ, распущенный въ сѣроуглеродѣ. Такъ какъ эта жидкость быстро испаряется (оставляя на трубѣ слой твердаго асфальта) и такъ какъ пары ея очень удушливы, то производилась во время работы усиленная вентиляція внутренности трубы, для чего на разстояніяхъ около 1000 футъ другъ отъ друга были устроены въ трубопроводѣ лазы. Сквозь два или три смежныхъ лаза, которые открывались для этой цѣли, люди входили внутрь трубы, покрывали голыя мѣста слоемъ покрышки (или осматривали вновь поставленныя заклепки и пр.), а въ это время сквозь трубопроводъ вентиляторомъ прогонялся сильный токъ воздуха.

Послѣ того, какъ трубы были сложены вдоль канавъ, по двѣ секціи склепывалось на поверхности земли вмѣстѣ, образуя новую, длиною въ 54,5 фута и эти секціи опускались уже въ канавы дерриками, будучи ранѣе накачены на бревна, лежащія поперекъ канавъ. Въ канавахъ онѣ склепывались уже окончательно въ непрерывный водоводъ.

Всякій разъ послѣ того, какъ прибавлялось около мили длины вновь склепанной трубы, производился осмотръ этой новой мили и всѣ недостатки въ клепкѣ и асфальтировкѣ немедленно исправлялись. Затѣмъ концы этой мили закрывали крышками или задвижками и наполняли ее водою, давленіе которой постепенно увеличивали до тѣхъ поръ, пока оно дѣлалось въ 1,5 раза больше, нежели то, подъ которымъ труба должна въ нормальныхъ условіяхъ работать. Затѣмъ исправляли течи.

Относительно трубъ г. Рочестеръ надо сказать, что онѣ оказались очень несчастными, такъ какъ подверглись съ теченіемъ времени сильнѣйшему разъѣданію. Въ высшей степени поучительная и интересная статья, посвященная всестороннему разсмотрѣнію вопроса о разъѣданіи этихъ трубъ, имѣется въ журналѣ „Engineering News“, 1898 г., May 28. Въ ней подробно разобраны причины сказанной порчи трубъ и разсмотрѣны всѣ вопросы, относящіеся къ долговѣчности желѣзныхъ и стальныхъ трубъ. Статья очень обширна и приводить изъ нея выдержки— невозможно. Скажемъ только, что причины разъѣданія трубъ Рочестера скорѣе физическія, нежели химическія; именно — плохая асфальтировка, нѣкоторые физическіе недостатки листовъ и грунтъ, пропитанный водою, содержащею къ тому же много кислотъ. Сочетаніе этихъ трехъ обстоятельствъ явилось причиною необыкновенно сильнаго ржавленія трубъ, какового на многихъ другихъ клепаныхъ трубопроводахъ совершенно не наблюдалось. Весьма интересныя подробности см. въ названной статьѣ. Укажемъ только на одну, крайне любопытную подробность. Именно, желѣзныя трубы ржавѣютъ почти равномѣрно по всей своей длинѣ, на весьма небольшую глубину, стальныя же трубы, какъ это имѣло мѣсто въ Рочестерѣ и въ Портландѣ, ржавѣютъ лишь отдѣльными

---

* На эти предосторожности, принимаемыя при перевозкѣ и укладкѣ (и на многія, имъ подобныя и указанныя въ другихъ мѣстахъ книги) обращаемъ *особенное вниманіе* молодыхъ Русскихъ техниковъ. Кто хоть разъ видалъ, какъ перевозятся всякіе техническіе предметы, а въ томъ числѣ и асфальтированныя трубы, на телѣгахъ *Русскихъ* ломовиковъ, хотя бы напр. въ Москвѣ, какъ эти вещи трутся веревками и воротяжками, какъ онѣ обдираются каблуками сидящихъ на нихъ возчиковъ или спящихъ въ нихъ иногда рабочихъ или безпріютныхъ лицъ, какъ онѣ сваливаются (именно, сваливаются, а не снимаются!) съ телѣгъ на землю, а то и на каменную мостовую, тотъ пойметъ, насколько мы еще далеки отъ пониманія и соблюденія самыхъ элементарныхъ основъ раціональной Техники! Не даромъ иностранныя фирмы, первый разъ посылающія свои издѣлія въ Россію и не знающія нашихъ условій перевозки и обращенія съ вещами, часто теряютъ заказчиковъ только потому, что вещи получаются заказчиками въ такомъ видѣ, который дѣлаетъ совершенно невозможнымъ употребленіе ихъ въ дѣло. На это болѣе двадцати лѣтъ тому назадъ указывалъ почтенный профессоръ И. А. Тиме въ своемъ классическомъ сочиненіи „Основы машиностроенія“ и съ тѣхъ поръ мы все еще мало ушли впередъ. Молодой инженеръ и техникъ долженъ бороться съ этимъ и способствовать искорененію такой возмутительной халатности и небрежности, которая до сихъ поръ еще царитъ въ Россіи (конечно, благодаря темнотѣ массы) при обращеніи съ деликатными издѣліями при перевозкѣ, нагрузкѣ и разгрузкѣ и даже при работѣ съ ними спеціалистовъ-рабочихъ. Имѣя въ виду многое такое, я и вдавался здѣсь иногда по нѣкоторымъ вопросамъ въ подробности, которыя были бы совершенно излишними въ книгѣ, изданной за границей, но которыя необходимо еще постоянно выдвигать и ставить на видъ у насъ въ Россіи.

мѣстами, такъ сказать, о с п и н а м и; образуются маленькія ямочки, разбросанныя по трубѣ, но настолько глубокія, что въ концѣ концовъ трубу *пропдаетъ насквозь*. Причина этого пока еще не выяснена.

§ 65. Водопроводъ города Allegheny, Pa., въ Америкѣ.

Въ этомъ водопроводѣ, который построенъ въ 1895 году, вода гонится насосами изъ рѣки по стальной клепаной трубѣ (водоводу), имѣющей діаметръ въ 60 дюймовъ и длину около 10 Англ. миль, въ городъ. Труба лежитъ въ землѣ.

Относительно укладки трубы здѣсь заслуживаетъ указанія лишь одно обстоятельство. Именно, тамъ, гдѣ трубопроводъ прикрѣпляется фундаментными болтами къ каменнымъ массивамъ, или гдѣ онъ проходитъ по такому мѣсту, что трубы нагружаются какой нибудь значительной нагрузкой, на трубы, для приданія имъ жесткости противъ исковеркиванія и сплющиванія ихъ, наклепываются стальныя усиливающія кольца, сдѣланныя изъ угловой стали $4^1/_2 \times 3$ дюйма, вѣсящей 12 фунтовъ на футъ длины.

Спецификаціи для самой трубы таковы. Труба должна быть изъ мягкой Сименсъ-Мартеновской стали, съ коэффиціентомъ крѣпости на разрывъ отъ 55000 до 65000 фунтовъ на □ дюймъ; предѣлъ упругости—32000 фун. на □ дюймъ; удлиненіе по направленію прокатки—25%; поперекъ—22%; уменьшеніе площади поперечнаго сѣченія—50%. Пробные бруски имѣютъ длину въ 8 дюймовъ и ширину $1^1/_2$ дюйма между кернами. Пробный для изгиба брусокъ долженъ имѣть не менѣе 6 дюймовъ длины и 1 дюйма ширины; вырѣзанный, все равно, какъ по продольному, такъ и по поперечному направленію, изъ листа, онъ долженъ въ холодномъ состояніи загибаться на 180° безъ оправки самъ на себя и складываться подъ молоткомъ въ плоскій видъ безъ признаковъ излома на выпуклой сторонѣ. Такое же испытаніе бруски должны выдерживать и послѣ того, какъ они будутъ нагрѣты до темнокраснаго каленія и охлаждены въ водѣ, имѣющей температуру въ 60° Фаренгейта. Образецъ для пробы на раздачу дыръ долженъ имѣть 3 дюйма ширины и 6 дюймовъ длины, съ двумя дырами въ $^3/_4$ дюйма, пробитыми въ немъ на разстояніи другъ отъ друга 2 дюйма (считая между центрами), расположенными по центральной линіи его; въ холодномъ состояніи дыры расколачиваются оправкой до тѣхъ поръ, пока діаметръ ихъ не станетъ вдвое болѣе и при этомъ не должно быть никакихъ признаковъ трещинъ. Листы должны дозволять въ холодномъ состояніи оттяжку тонкихъ краевъ безъ всякихъ слѣдовъ излома. Что̀ касается химическаго состава стали, то она не должна содержать болѣе 0,05% сѣры, 0,05% фосфора, 0,05% кремнія и 0,5% марганца. Количество углерода не указано, такъ какъ оно ограничено поставленными выше физическими требованіями испытанія образцовъ; въ среднемъ оно составляетъ 0,13%.

Всѣ заклепки для клепки въ мастерской (shop riveting) должны быть изъ Мартеновской стали, удовлетворяющей тѣмъ же химическимъ требованіямъ, какъ и листы. Образцы изъ заклепочной стали, длиною въ 8 дюймовъ и такого же діаметра, какъ и сами заклепки, должны имѣть коэффиціентъ крѣпости на разрывъ отъ 55000 до 62000 фунтовъ на □ дюймъ; предѣлъ упругости 30000 фунтовъ на □ дюймъ; удлиненіе 26%; уменьшеніе площади поперечнаго сѣченія 50%. Какъ въ обычномъ видѣ, такъ и послѣ нагрѣва до темнокраснаго каленія и охлажденія въ водѣ, имѣющей температуру въ 60° Фаренгейта, образцы должны загибаться на 180° и складываться вдвое безъ признаковъ излома на выпуклой сторонѣ. Для полевой клепки (на мѣстѣ, field riveting) и для ручной клепки должны употребляться заклепки изъ лучшаго, самаго чистаго ж е л ѣ з а, мягкаго и ковкаго; образцы этого желѣза должны имѣть коэффиціентъ крѣпости на разрывъ въ 50000 фунтовъ на □ дюймъ, предѣлъ упругости 26000 фунтовъ на □ дюймъ, удлиненіе 18% на длинѣ 8 дюймовъ. Образцы, такого же діаметра, какъ и заклепки, должны загибаться на 180° по кривой, которой діаметръ равенъ діаметру заклепки, не показывая признаковъ излома на выпуклой сторонѣ.

Всѣ отливки должны быть изъ вязкаго сѣраго чугуна, съ коэффиціентомъ крѣпости на разрывъ отъ 18000 до 24000 фунтовъ на □ дюймъ, измѣреннымъ на образцахъ, у которыхъ литейная корка была какъ нибудь удалена: сточена,острогана или сфрезована прочь. Пробный брусокъ, съ котораго снята корка, квадратнаго сѣченія 1×1 дюймъ, имѣющій 40 дюймовъ длины, будучи положенъ на опоры, отстоящія одна отъ другой на 36 дюймовъ, долженъ выдержать постепенно прикладываемый въ срединѣ его грузъ до 750 фунтовъ, при прогибѣ въ срединѣ отъ 0,4 до 0,6 дюйма.

Всѣ листы и заклепки должны быть свободны отъ ржавчины и при появленіи случайнаго ржавленія ихъ во время перевозки или изготовленія, ржавчина должна быть удаляема посредствомъ жесткихъ щетокъ и протиранія разведенной кислотой, послѣ чего слѣдуетъ протереть насыщеннымъ растворомъ соды, или другого подходящаго алкалическаго вещества, для того, чтобы нейтрализовать кислоту. Затѣмъ алкали слѣдуетъ смыть прочь и листъ тщательно высушить.

При пробивкѣ листовъ діаметръ отверстія въ матрицѣ не долженъ превосходить діаметръ пунсона болѣе, какъ на $^1/_{16}$ дюйма. Вся клепка въ мастерской должна быть машинная, гидравлическая, при медленномъ развитіи давленія, которое должно поддерживаться, пока заклепка не будетъ посажена окончательно. На каждомъ пересѣченіи или напускѣ продольнаго шва на поперечный, должны быть поставлены двѣ спеціальныя, длинныя заклепки, проходящія сквозь тройную толщу листовъ. Всѣ продольные швы должны быть двойные. Всѣ поперечные швы должны быть одиночные; инженеръ можетъ потребовать, однако, двойныхъ поперечныхъ швовъ для частей трубъ, лежащихъ не далѣе 200 футъ отъ задвижки.

Въ мастерской склепываются отдѣльныя секціи, состоящія каждая изъ четырехъ барабановъ, двухъ наружныхъ, и двухъ меньшихъ, входящихъ въ нихъ; разстояніе между продольными швами (по окружности) не должно быть менѣе 12 дюймовъ и болѣе 30 дюймовъ. Въ канаву секціи эти укладываются такимъ образомъ, что продольные швы всѣхъ меньшаго діаметра барабановъ (внутреннихъ) приходятся въ вершинѣ трубопровода, а всѣ продольные швы наружныхъ барабановъ (исключая закругленія и углы) приходятся на одной линіи и кромки ихъ, подлежащія чеканкѣ, всѣ обращены вверхъ. Для образованія на трубопроводѣ угловъ (колѣнъ) и закругленій, въ наружныхъ барабанахъ должны быть пробиты дыры такимъ образомъ, чтобы получились потребные углы въ столькихъ поперечныхъ швахъ, въ сколькихъ это потребуется, причемъ въ одномъ поперечномъ швѣ не долженъ быть дѣлаемъ уголъ бо́льшій, нежели $2^1/_2$ градуса. Наружные барабаны могутъ имѣть свои швы на произвольной образующей верхней половины трубы, но кромки, подлежащія чеканкѣ, вездѣ должны быть обращены вверхъ. Эти спеціальныя части могутъ быть сдѣланы и изъ числа листовъ, меньшаго четырехъ и листы могутъ быть въ нихъ и уже 6 футъ, если это окажется необходимымъ. Переходы и коническія части должны состоять изъ листовъ, такимъ образомъ вырѣзанныхъ и просверленныхъ, чтобы центральныя линіи заклепокъ въ поперечныхъ швахъ были бы параллельны другъ другу, и плоскости ихъ также были бы параллельны другъ другу и перпендикулярны къ оси трубы.

Кромки всѣхъ листовъ должны быть остроганы по надлежащимъ линіямъ и скошены на всѣхъ сторонахъ листа для расчеканки; скашиваніе срѣзываніемъ * не дозволяется. Всѣ швы и стыки трубъ слѣдуетъ чеканить внутри и снаружи, прежде, нежели труба подвергнется покрыванію предохранительнымъ слоемъ (асфальтировкѣ); въ мѣстахъ напуска листовъ другъ на друга толщина листовъ постепенно сводится въ тонкую оконечность путемъ разбиванія молоткомъ, и сквозь эту тонкую часть (языкъ) пропускаются двѣ длинныя заклепки, какъ сказано выше. Вся чеканка въ мастерской и въ полѣ (на мѣстѣ) должна производиться по способу, извѣстному подъ именемъ вогнутой чеканки *Connery*; расчеканки въ расщелину (split calking) никоимъ образомъ не допускается.

Для изготовленія этой трубы потребовалось около 8500 тоннъ листовой стали, въ $^1/_2$ дюйма толщиною, которая была вся доставлена фирмою Carnegie Steel Co.; труба же изготовлялась двумя заводами: заводъ James Mc.-Niel & Brothers изготовилъ около 36000 футовъ длины трубы, а заводъ Riter & Conley (оба въ Питтсбургѣ)—около 12000 футъ трубы. Плоскіе листы доставлялись съ прокатнаго завода на крытыхъ плоскихъ платформахъ, упакованными въ деревянныя рамы, для того, чтобы предохранить края листовъ отъ порчи. На трубномъ заводѣ въ листахъ пробивалось дыропробивнымъ прессомъ сразу по двѣ дыры; послѣ этого острагивались кромки такъ, что кромка и прямая сторона образуютъ уголъ въ 63°. Изъ подъ строгальной листы идутъ подъ паровой молотъ, который оттягиваетъ утоняющимся языкомъ углы, нагрѣтые до желтаго каленія. Послѣ этого листы готовы для загибанія, которое производится съ одного прохода, и затѣмъ листы предварительно свертываются болтами, для приготовленія къ клепкѣ. Четыре барабана (секція) свертываются сразу и затѣмъ вся такая секція клепется гидравлической клепальной машиной, надъ которой она повѣшена въ вертикальномъ положеніи. Заклепки вставляются съ наружной стороны и на каждую заклепку производится при клепкѣ давленіе въ 65 тоннъ. Послѣ склепыванія секціи кромки листовъ чеканятся по вогнутой поверхности пневматической чеканкой Кинга, дающей до 10000 ударовъ въ минуту. Заклепки имѣютъ діаметръ въ $1^1/_8$ дюйма, длину въ 3 дюйма подъ головкой; головки имѣютъ діаметръ въ $1^7/_8$ дюйма и высоту въ $^{15}/_{16}$ дюйма. Главные размѣры трубопровода сведены въ нижеслѣдующей таблицѣ:

---

* подразумѣвается „на ножницахъ и т. п.“, наподобіе пробивки.

Труба:

Номинальный діаметръ	60	дюйм.
толщина листовъ	1/2	„
длина большихъ листовъ	199 3/8	„
„ малыхъ „	196	„
ширина всѣхъ листовъ	73 1/2	„
внутренній діаметръ большихъ барабановъ	61	„
„ „ малыхъ „	60	„
діаметръ заклепокъ	1 1/8	„
діаметръ дыръ для заклепокъ	1 3/16	„

Поперечные швы:

число заклепокъ для одного шва	66	
окружность большихъ листовъ	193,396	дюйма
„ малыхъ „	190,066	„
шагъ заклепочнаго шва въ большихъ листахъ	2,925	„
„ „ „ „ малыхъ „	2,879	„
разстояніе отъ центра заклепки до края листа	1 3/4	„
напускъ листовъ другъ на друга въ поперечномъ швѣ	3 1/2	„

Продольные швы:

число заклепокъ въ первомъ ряду (за исключеніемъ заклепокъ поперечнаго шва)	14	
число заклепокъ во второмъ ряду (за исключеніемъ заклепокъ поперечнаго шва)	13	
одинаковый шагъ въ обоихъ рядахъ	4,617	дюйма
разстояніе между рядами	1 3/4	„
діагональный шагъ (приблизительно)	2,90	„
разстояніе отъ центра заклепки до края листа	1 3/4	„
напускъ листовъ другъ на друга въ продольномъ швѣ	5 1/4	„

Покрышка (асфальтировка) трубъ должна производиться по способу Sabin, хотя спецификаціи позволяютъ примѣнять и другіе процессы, если будутъ удовлетворены нижеслѣдующія требованія:

Покрышка трубъ должна быть гладкой; твердой, но вязкой; упругой и долговѣчной; она должна быть свободна отъ пузырей и пленъ, и не должна портиться отъ вліянія воздуха и почвы. Она должна крѣпко пристать къ трубѣ, не должна лѣтомъ на солнцѣ дѣлаться столь мягкой, чтобы течь и не должна зимою дѣлаться столь хрупкой, чтобы шелушиться; она не должна показывать никакихъ признаковъ ломкости, будучи нанесена на пробный брусокъ и погружена въ воду, имѣющую температуру въ 35° Фаренгейта; она не должна также течь при температурѣ въ 150° Фаренгейта. Температура асфальтирующей ванны должна быть около 300° Фаренгейта. Трубы могутъ быть погружаемы въ ванну горизонтально или вертикально, смотря по тому, какъ будетъ предписано; при горизонтальномъ погруженіи, трубы въ ваннѣ необходимо проворачивать.

Передъ асфальтировкой трубы пробуются гидравлическимъ давленіемъ отъ 90 до 100 фунтовъ на □ дюймъ.

Асфальтировка производилась въ глубокомъ цилиндрическомъ бакѣ, имѣющемъ діаметръ въ 6 футъ и глубину въ 25 футъ. Сначала нагрѣваніе ванны въ этомъ бакѣ производили помощію змѣевика, по которому пропускали паръ, но змѣевикъ этотъ часто портился отъ ударовъ объ него опускаемой въ бакъ трубы, и поэтому впослѣдствіи вмѣсто змѣевика былъ устроенъ по срединѣ бака, концентрично съ нимъ, сплошной барабанъ 30 дюймовъ въ діаметрѣ, идущій во всю высоту бака и наполненный паромъ.

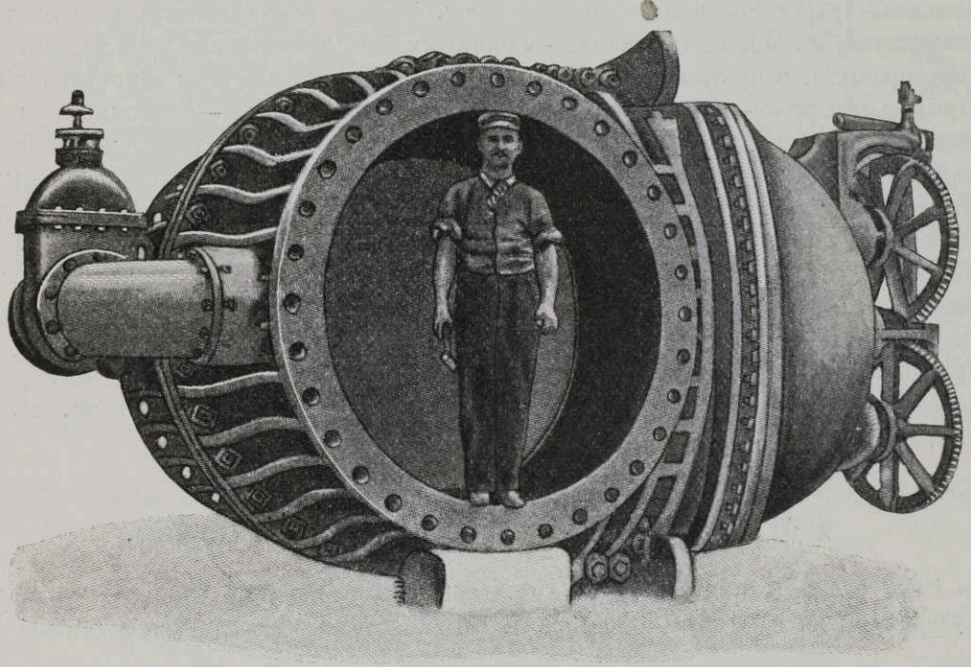
Послѣ асфальтировки труба сохнетъ въ особыхъ печахъ отъ 5 до 6 часовъ, причемъ въ нихъ поддерживается температура отъ 350 до 400° Фаренгейта.

Перевозка трубы производится на вагонахъ, на которыхъ она лежитъ на брусьяхъ, обмотанныхъ соломой, чтобы не повредить слоя покрышки. Говорятъ, что если даже слой асфальтировки и будетъ мѣстами содранъ, то труба все таки не ржавѣетъ, благодаря вліянія масла, входящаго въ составъ ванны, которое энергично проникаетъ въ толщу стѣнки. Каждая секція нумеруется и мѣсто ея обозначается на детальномъ планѣ укладки, такъ что возчикъ трубы знаетъ, гдѣ именно надо ее сгрузить. Трубы опускаются въ канавы краномъ типа „Derrick“ и затѣмъ поперечные швы

секцій свертываются достаточнымъ числомъ болтовъ, послѣ чего производится склепываніе при помощи переносной пневматической клепальной машины. Заклепки вставляются изнутри трубы. Въ случаѣ сноса дыръ онѣ проходятся разверткою изнутри. На разстояніяхъ отъ 600 до 700 футъ сдѣланы въ трубопроводѣ лазы для людей, а на разстояніяхъ около 100 футъ—небольшія отверстія для рукъ. Послѣ склепыванія всѣ стыки закрашиваются внутри и снаружи чистымъ Калифорнскимъ асфальтомъ. Во время укладки, клепки и чеканки трубы въ канавѣ, и въ то время, когда вообще люди работаютъ внутри трубы и вокругъ нея, полоска парусины въ 30 дюймовъ шириною лежитъ внутри трубы и на верхней части ея.

Готовый трубопроводъ пробуется гидравлическимъ давленіемъ въ 115 фунтовъ на □ дюймъ, что должно дѣлаться ранѣе засыпки канавы; пробуются части трубопровода длиною около 1000 футъ и для изолированія ихъ употребляются особыя крышки. Рабочее давленіе въ трубѣ составляетъ отъ 110 до 120 фунтовъ на концѣ, прилегающемъ къ насосу и, отъ 25 до 30 фунтовъ на концѣ, прилегающемъ къ резервуару.

Здѣсь будетъ кстати замѣтить, что принадлежности такого громаднаго трубопровода, имѣющаго 60 дюймовъ въ діаметрѣ, выходятъ, необыкновенно тяжелы и громоздки. Такъ напримѣръ, Y-образная фасонная часть описываемаго водопровода, 60 × 60 × 60 дюймовъ, вѣситъ 51484 фунта, а 60-дюймовая задвижка его—50000 фунтовъ! Задвижка эта изображена на чер. 134. Для пере-



Чер. 134.

возки этихъ частей отъ желѣзной дороги къ мѣсту назначенія употреблялись спеціальныя телѣги, запряженныя двадцатью четыремя лошадьми.

Такъ какъ на линіи имѣется очень много закругленій, то ими была въ достаточной степени обезпечена необходимая гибкость или податливость трубопровода, и поэтому особыхъ расширителей на линіи нигдѣ не поставлено, исключая лишь мѣста соединенія съ Y-образными частями и мѣста соединенія съ задвижками.

§ 66. Водопроводъ города Duluth, Minn., въ Америкѣ.

Городъ *Duluth*, Minn. получаетъ воду изъ озера *Superior* (Верхнее озеро); такъ какъ онъ расположенъ на гористомъ склонѣ, то для удобства водоснабженія онъ былъ раздѣленъ на три участка: низкій, средній и высокій. Мы здѣсь опишемъ трубы низкаго участка (о которыхъ только и есть подробныя свѣденія), построенныя въ 1898 году.

Вода берется изъ точки озера, удаленной отъ берега на 1500 футъ, къ которой идетъ отъ берега подводная линія изъ стальныхъ клепаныхъ трубъ въ 60 дюймовъ діаметромъ. Толщина стѣнокъ этой подводной трубы равна $^3/_8$ дюйма; она состоитъ изъ секцій, имѣющихъ въ длину по 116 футъ. Секціи эти соединяются другъ съ другомъ при помощи соединеній съ крючковидными болтами, а въ четырехъ мѣстахъ сдѣланы еще и шаровыя сочлененія. Одно изъ такихъ сочлененій, вмѣстѣ съ двумя смежными съ нимъ соединеніями съ крючковидными болтами, показано на табл. 82, фиг. 3. Раструбы съ крючковидными болтами работаютъ подобно тому, какъ и въ водопроводѣ города Сиракузъ, описанномъ раньше, только здѣсь раструбъ весь цѣликомъ состоитъ изъ стальныхъ листовъ, клепаный.

О мѣстахъ, гдѣ находятся шаровыя сочлененія, сказано въ *Атласѣ*; продольный профиль этого трубопровода см. въ оригинальной статьѣ. Первоначально предполагалось засыпать трубу сверху слоемъ песка и гравія въ 5 футовъ толщиною, но такъ какъ оказалось, что волны проникаютъ въ глубину гораздо сильнѣе, чѣмъ думали сначала, то вмѣсто засыпки трубопроводъ былъ нагруженъ пятью посаженными на него сѣдлами, наполненными камнями.

Стоймость трубы составляетъ 9,11 доллара на одинъ футъ длины, съ доставкой на дровняхъ; раструбныя соединенія обошлись по 82 доллара за штуку, а шаровыя сочлененія—по 398 долларовъ за штуку. Укладка трубы была сдана по контракту другой фирмѣ и обошлась, включая сюда всѣ земляныя работы и т. п., въ 32000 долларовъ.

Напорная линія, идущая отъ насосной станціи, расположенной на берегу озера, въ городъ, имѣетъ длину около 6 Англ. миль и діаметръ въ 42 дюйма. Она подымаетъ воду на высоту около 290 футъ. Этотъ трубопроводъ склепанъ изъ листовой стали. Спецификаціи требуютъ, чтобы сталь имѣла на разрывъ коэффиціентъ крѣпости въ 60000 фунтовъ на □ дюймъ, удлиненіе—25% на длинѣ 8 дюймовъ, уменьшеніе площади поперечнаго сѣченія—48%. Химическія требованія—фосфора не болѣе 0,04% и сѣры—тоже не болѣе 0,04%. Изъ мастерской труба выходитъ секціями отъ 28 до 32 футъ длиною, изъ четырехъ барабановъ съ телескопическими поперечными швами. Всѣ дыры для заклепокъ сперва пробиваются, а затѣмъ развертываются разверткой, послѣ того какъ болтами барабаны будутъ предварительно свернуты. Кромки всѣхъ листовъ скашиваются для расчеканки. Вся клепка въ заводѣ и чеканка—машинныя. Всѣ заклепочные швы спроектированы такъ, чтобы, по возможности, сопротивленіе заклепокъ на срѣзъ равнялось бы сопротивленію листовъ на разрывъ. Продольные швы—двойные въ напускъ, поперечные швы—одиночные, исключая лишь части, длиною въ 150 футъ, прилегающія къ задвижкамъ, и такой же длины части по обѣ стороны мѣстъ перехода трубы болѣе тяжелаго класса въ болѣе легкій, на протяженіи каковыхъ длинъ поперечные швы тоже дѣлаются двойными. Заклепки всѣ стальныя. Вся длина трубы раздѣлена на девять классовъ, въ зависимости отъ давленія въ ней. Толщина стѣнокъ трубы у самаго тонкаго класса равна $^1/_4$ дюйма, и затѣмъ для каждаго слѣдующаго класса она всякій разъ увеличивается на $^1/_{32}$ дюйма, такъ что для самаго тяжелаго класса толщина стѣнки будетъ равна $^1/_2$ дюйма.

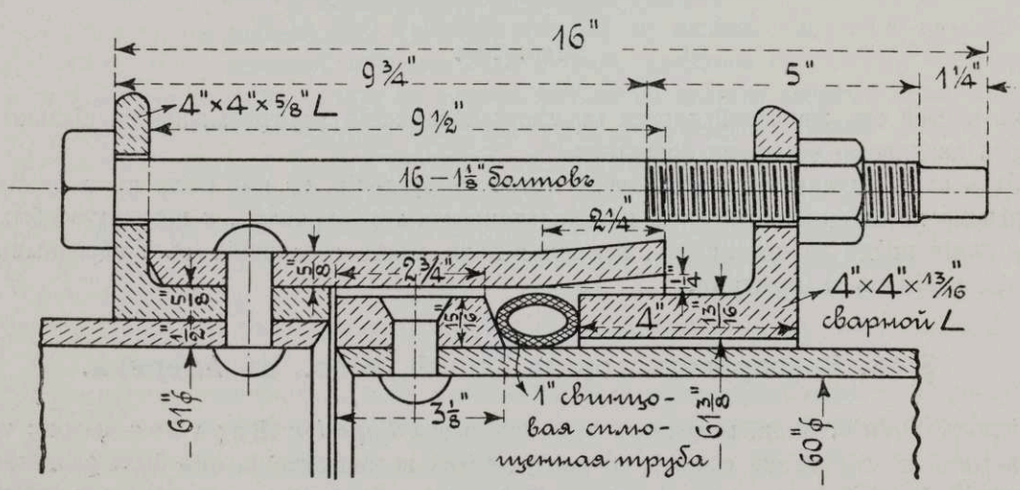
Трубопроводъ лежитъ въ канавѣ около 8,5 футъ глубиною.

На разстояніяхъ около 600 футъ сдѣланы лазы для людей 16″ × 14″ размѣромъ.

Подробности относительно этихъ трубъ и всего устройства вообще см. въ „Engineering News, 1898 г., May 5“.

§ 67. Водопроводъ города Erie, въ Америкѣ.

До 1905 года вода для города Erie бралась изъ озера Эри чугунной подводной трубой, изъ точки, удаленной на 8300 футъ отъ берега. Но благодаря постепенному загрязненію этой части



Чер. 135. (Штриховки *Атласа*).

озера пришлось, наконецъ, отнести мѣсто забора воды далѣе въ глубь озера, еще на разстояніе около 10000 футовъ, и это продолженіе выполнено въ видѣ подводной стальной клепаной трубы въ 5 футъ діаметромъ. Толщина стѣнки равна $^1/_2$ дюйма; испытанія матеріала—такія же, какія установлены для нормальныхъ котельныхъ листовъ. Листы завода Carnegie. Труба изготовляется секціями въ 30 футъ длиной, въ каковомъ видѣ и асфальтируется спеціальной смѣсью, будучи подогрѣта до 300° Фаренгейта. Вся полевая клепка и всѣ соединенія, сдѣланныя на берегу, должны быть закрашены составомъ Смита (Smith's durable metal coating).

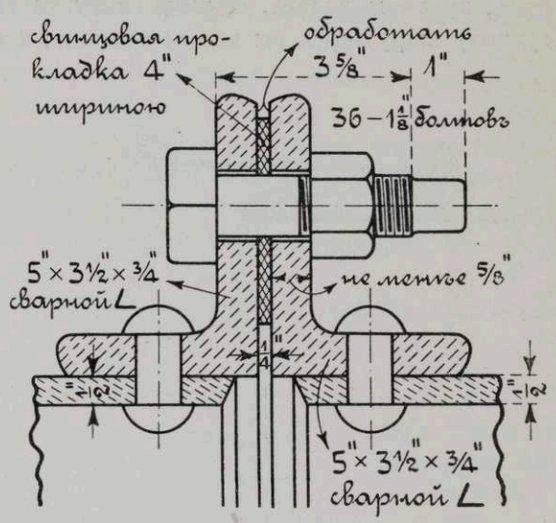
Барабаны всѣ коническіе, входящіе одинъ въ другой концами. Продольный шовъ на ка-

ждомъ барабанѣ, состоящемъ изъ одного только листа,—двойной, въ напускъ; поперечные швы—одиночные, въ напускъ. Секціи въ 30 футъ, привезенныя на берегъ озера, склепываются затѣмъ по четыре или по пяти въ новыя, большія секціи въ 120 или 150 футъ длиною. Эти длинныя секціи опускаются уже въ воду и соединяются одна съ другой подъ водою водолазами посредствомъ спеціальныхъ соединеній, показанныхъ на чер. 135. Только въ нѣкоторыхъ, особенныхъ мѣстахъ, соединенія выполнены при помощи флянцевъ, какъ показано на чер. 136. Устройство этихъ соединеній совершенно ясно изъ чертежа, такъ что описывать ихъ подробно—нѣтъ надобности.

Кромѣ этихъ соединеній въ линію вставлено все таки еще и нѣсколько расширителей. Къ сожалѣнію, наряду съ детальнымъ чертежомъ двухъ соединеній, издатели журнала полѣнились дать и хорошій чертежъ этого расширителя, а ограничились длиннымъ его описаніемъ, изъ котораго невозможно ясно понять его устройства. Суть дѣла здѣсь въ томъ, что одинъ конецъ трубы скользитъ въ другомъ, это мѣсто окружено оболочкой и герметичность достигается между ними опять таки при помощи расплющенной свинцовой трубки.

Труба лежитъ въ канавѣ, которой глубина мѣняется отъ 8 до 21 фута, считая отъ поверхности дна. Наибольшая же высота столба воды надъ дномъ доходитъ до 44 футъ, у заборнаго колодца. Грунтъ—мелкій озерный песокъ.

Мы не станемъ здѣсь входить въ подробное описаніе укладки этой трубы, которое производилось не съ плотовъ или шаландъ, а посредствомъ свайной постройки, возводившейся, такъ сказать, вокругъ каждой укладываемой секціи, которая буксировалась до мѣста катеромъ съ 20-сильнымъ газолиновымъ двигателемъ; секція имѣла закрытые концы и плыла полупогруженная. Соединенія, показанныя на чер. 135, дѣлались подъ водой водолазомъ, но болты затягивались не имъ; онъ только надѣвалъ на гайку ключъ съ трещоткой, а затѣмъ съ платформочки на сваяхъ рабочій веревкой подвертывалъ этотъ ключъ до полученія надлежащей затяжки болтовъ.



Чер. 136. (Штриховки *Атласа*).

Интересующіеся подробностями могутъ обратиться къ журналу „The Engineering Record", 1905 г., Octob. 14.

§ 68. Водопроводъ Vyrnwy, въ г. Ливерпулѣ.

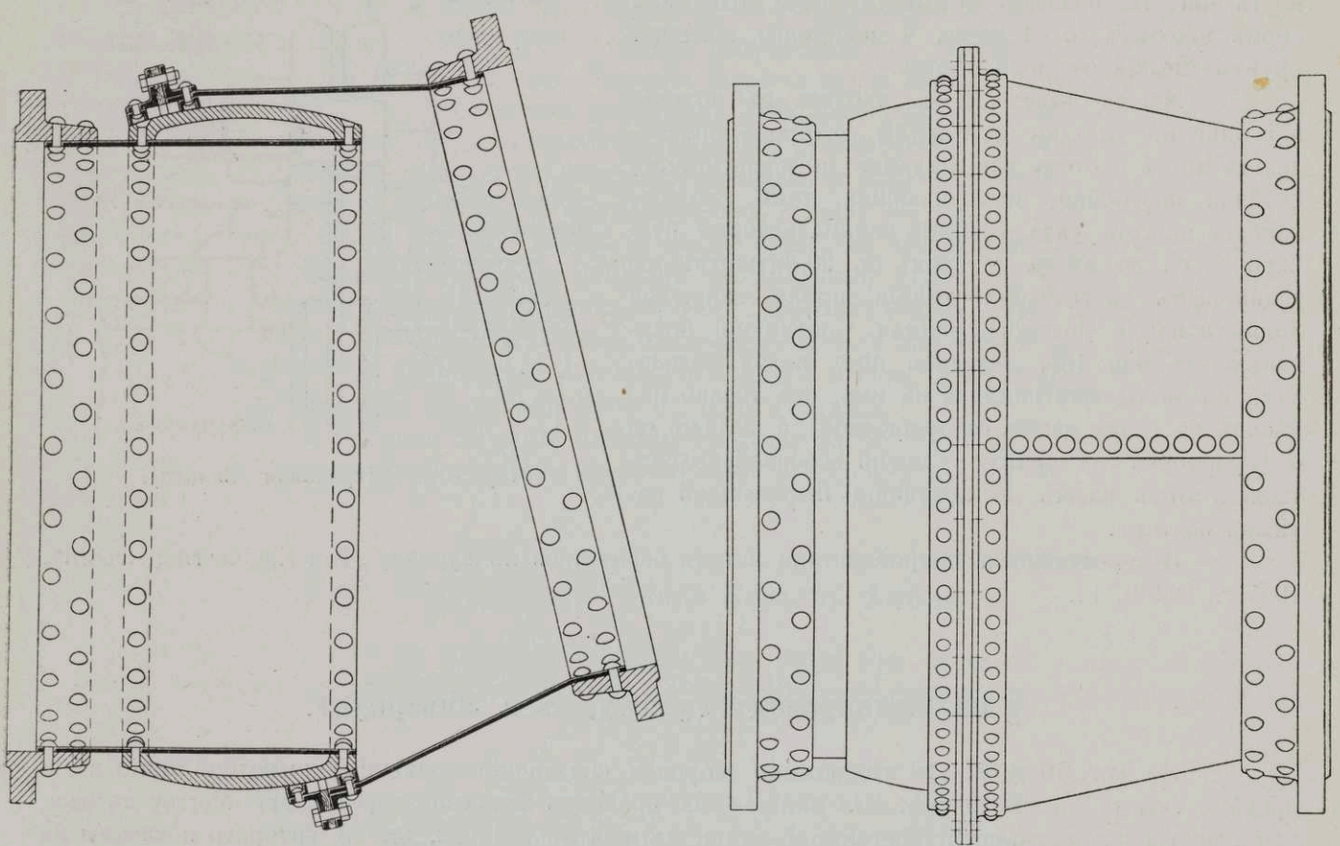
На фиг. 19 табл. 116 изображено шаровое сочлененіе временной подводной линіи водопровода Vyrnwy въ Ливерпулѣ. Эта линія была временно положена черезъ рѣку Mersey въ ожиданіи постройки настоящей, постоянной линіи, идущей въ туннелѣ, детали котораго показаны на табл. 104. Труба эта стальная, имѣетъ 12 дюймовъ въ діаметрѣ. Она состоитъ изъ 50 секцій и полная длина ея составляетъ около 800 футъ. Укладка этой линіи интересна тѣмъ, что трубы не опускались въ воду съ плотовъ, а вся линія была заранѣе собрана на берегу и затѣмъ силой протянута поперекъ рѣки, какъ веревка или цѣпь. Каждая секція соединялась со слѣдующей посредствомъ шарового сочлененія, показаннаго въ *Атласѣ* на табл. 116. Для производства всей операціи укладки, на берегу, по направленію, перпендикулярному къ рѣкѣ, была выкопана канава, на дно которой были положены деревянные лежни или рельсы, и на нихъ была расположена вытянутая въ прямую уже собранная линія. Подъ каждымъ шаровымъ сочлененіемъ были сдѣланы деревянныя сани и эти то сани и были поставлены на упомянутые рельсы, по которымъ и должны были скользить. Двумя проволочными канатами, зацѣпленными за всю эту систему и перекинутыми на другой берегъ рѣки, и тащили затѣмъ постепенно трубопроводъ въ воду. Для направленія укладываемаго трубопровода вдоль его будущаго мѣста лежанія были поставлены на якоряхъ восемь судовъ. Слѣдуетъ замѣтить, что дно рѣки очень измѣнчивое, имѣетъ много отмелей, образующихся при каждомъ приливѣ и отливѣ; при низшемъ стояніи воды во время отлива скорость теченія бываетъ отъ 3 до 4 футъ въ секунду. Въ виду этого трубу съ судовъ удерживали канатами.

По смазаннымъ мыломъ рельсамъ труба успѣшно была стянута въ воду лошадьми и паровымъ воротомъ и въ $27^1/_2$ минутъ была перетянута поперекъ всей рѣки. Голову тащимой линіи направляли два судна. Послѣ этого пустили въ трубу воду и она начала тонуть. Черезъ сутки труба окончательно улеглась въ дно и по осмотрѣ всѣ шаровыя сочлененія были найдены въ полной исправности.

§ 69. Шаровыя сочлененія водопровода г. Торонто, въ Америкѣ.

На вновь построенной въ 1891 году подводной линіи стальныхъ трубъ, для забиранія воды изъ озера Онтаріо, устроено болѣе 80 шаровыхъ сочлененій, такъ что линія эта представляетъ для водопроводнаго инженера большой интересъ. На этой линіи употреблены трубы трехъ различныхъ діаметровъ, именно, съ діаметрами въ 48 дюймовъ, 60 дюймовъ и 72 дюйма.

Трубы въ 48 и 60 дюймовъ сдѣланы изъ листовой котельной стали, толщиною $^3/_8$ дюйма, и укладываются, будучи склепаны изъ нѣсколькихъ барабановъ въ секціи, длина которыхъ составляетъ для 48-дюймовыхъ трубъ—55 футъ, а для 60-дюймовыхъ — 57 футъ. Шаровыя сочлененія устроены по тому же типу, какъ и сочлененіе для 72-дюймовой трубы того же водопровода, показанное на табл. 82 Атласа, фиг. 4; къ приведенному тамъ чертежу добавлять нечего; слѣдуетъ только сказать, что для заливки берется самый мягкій Англійскій свинецъ, и что изъ за швеллеровъ, куда онъ залитъ, свинецъ выступаетъ впередъ на одну осьмую дюйма, такъ чтобы по чугунному шару терся бы всегда свинецъ, а стальное кольцо изъ швеллера не драло бы шара *.



Чер. 137. (флянцы и „шаръ“—*чугунные*).

48-дюймовая труба имѣетъ въ длину 4660 футъ. Линія эта идетъ отъ насосной станціи черезъ гавань къ промежуточному колодцу и лежитъ на глубинѣ отъ 14 до 24 футъ подъ уровнемъ воды, на весьма неправильномъ днѣ, которое въ нѣкоторыхъ мѣстахъ пришлось даже выравнивать драгами. На этой длинѣ линія имѣетъ 65 шаровыхъ сочлененій.

60-дюймовая труба имѣетъ длину въ 6027 футъ, она идетъ черезъ бухту отъ соединительнаго колодца до другого, гдѣ переходитъ въ 72-дюймовую трубу, идущую уже въ озеро. На этой линіи имѣется 15 шаровыхъ сочлененій и канава для нея была вырыта во всю ея длину въ днѣ, состоящемъ изъ мягкой глины. Шаровыя сочлененія имѣютъ цѣлію предохранить трубопроводъ отъ поломки въ случаѣ осадки грунта и облегчить, кромѣ того, укладку трубъ, ибо безъ нихъ пришлось бы укладывать трубы съ совершенно опредѣленнымъ заранѣе уклономъ. Въ дополненіе къ детальному разрѣзу 72-дюймоваго сочлененія, имѣющемуся въ *Атласѣ*, помѣщаемъ еще на чер. 137 общій видъ шарового сочлененія для 60-дюймовой трубы.

---

* Надпись, имѣющуюся съ лѣвой стороны надъ фигурою 4, тб. 82, слѣдуетъ читать такъ: „$\sqsupset$ $3'' \times 1^1/_4'' \times {}^3/_8''$, несущіе свинецъ, остроганы по шаровой поверхности“. Къ этому автору (Law) слѣдовало бы на его детальномъ чертежѣ, со котораго снятъ нашъ, прибавить далѣе „на $^1/_4$ дюйма бо́льшаго діаметра, нежели діаметръ готоваго шара“. А то о выступаніи свинца нигдѣ ничего не говорится на самомъ чертежѣ.

Шаровыя сочлененія 48-дюймовыхъ трубъ прямо склепывались съ трубами, какъ бы простые барабаны. Шаровыя же сочлененія для 60-дюймовыхъ трубъ соединялись съ самими трубами при помощи чугунныхъ флянцевъ, имѣющихъ выступъ въ $^1/_4$ дюйма, на которомъ помѣщается прокладка изъ сосны. Она клалась на мѣсто надъ водою и привязывалась проволокою, проходящею сквозь дыры для болтовъ. При укладкѣ трубъ шаровыя сочлененія также приносили большую пользу, такъ какъ, при послѣдовательномъ присоединеніи къ уложенной уже части все новыхъ секцій, благодаря повороту трубъ въ шаровомъ шарнирѣ избѣгалось поддерживаніе на вѣсу слишкомъ большихъ длинъ трубопровода, ибо какъ только доходили до новаго шарового сочлененія, то вся предшествующая часть трубы ложилась уже на дно или въ канаву и получала тамъ опору.

Большинство свинчиваній болтами производилось подъ водою водолазами.

Всѣ эти шаровыя сочлененія спроектированы инженеромъ *W. H. Law,* который, повидимому, первый началъ конструировать такія сочлененія въ описанной здѣсь формѣ, т. е. клепаными, а не литыми чугунными. Ему же принадлежитъ и гигантское сочлененіе, показанное на табл. 82, фиг. 4.

По свидѣтельству того же Law подобныя сочлененія отличаются необыкновенною прочностію. Такъ, въ 1892 году, зимою, изъ подводной линіи была выкачана вся вода, вслѣдствіе чего она всплыла наверхъ и нѣкоторыя изъ сочлененій пробили ледъ въ нѣсколько футъ толщиною и вылѣзли сквозь него. Заклепочные швы самихъ трубъ были разрушены во многихъ мѣстахъ: посрѣзались заклепки или же порвались стѣнки листовъ вокругъ заклепокъ. Но сами шаровыя сочлененія остались совершенно неповрежденными и были потомъ опять уложены на дно безъ починки.

Приводимъ, въ заключеніе этихъ описаній, таблицу крупныхъ Американскихъ клепаныхъ трубъ.

Годъ	Названіе трубопровода	Діаметръ въ Англ. дюйм.	Длина (приблизительно) въ Англ. футахъ
1871	First Pittsburg, Pa.	50	2900
1891	East Jersey Water Co.	48	116000
1891	„ „ „ „ , Belleville	36	26000
1892	Syracuse, N. Y.	54	6500
1893	(2) Rochester, N. Y.	38	142000
1894	Second Pittsburg	50	1600
1894	Portland, Ore	33 и 42	126000
1895	Allegheny City, Pa.	60	50000
1895	East Jersey Water Co., Kearney, N. J.	42	8800
1896	East Jersey Water Co., Newark, N. J.	48	26400
1896	„ „ „ „	42	89700
1896	New Bedford, Mass.	48	42500
1896	Duluth, Minn.	42	15000
1896	Ogden, Utah	72	5000
1897	Minneapolis, Minn.	50	34400
1897	Passaic Water Co., N. J.	42	21000
1898	Albany, N. Y.	48	8000
1899	Seattle, Wash.	42	32400
1899	East Jersey Water Co.	51	47500
1900	Utica Power Co., Utica, N. Y.	84	1000
1899	Third Rising Main, Pittsburg, Pa	48	4400
1901	Atlantic City, N. J.	30	27000
1901	Pittsburg, Pa., Supply Main	42 и 51	26000

Годъ	Названіе трубопровода	Діаметръ въ Англ. дюйм.	Длина (приблизительно) въ Англ. футахъ
1902	Jersey City, N. J.	72	93000
1902	Boston, Mass.	— — —	— — —
1903	Newark, N. J.	60	39300
1903	Troy, N. Y.	33	35300
1903	Schenectady, N. Y.	36	23000
1905	Lynchburg	30	12000
1905	Wilmington, Del.	43	8000
1905	„ „	48	12000
1905	Passaic Water Co.	42	8000
1905	„ „ „	48	2000
1905—6	Pittsburg, Pa.	50	26500
1905—6	„ „	36	4100
1905—6	„ „	96	11800
1905	„ „	30	2600

§ 70. Большія желѣзныя и стальныя клепаныя (а иногда сварныя) трубы употребляются, какъ уже сказано, преимущественно для двухъ цѣлей: или въ качествѣ водопроводныхъ трубъ, или же *для подведенія воды къ большимъ турбинамъ высокаго давленія*. Давши нѣкоторыя подробности относительно трубъ для водоснабженія, скажемъ теперь нѣсколько словъ и относительно трубопроводовъ для подведенія воды къ турбинамъ.

Такіе трубопроводы, устраиваемые, вмѣсто чугуна, изъ желѣза и стали, при большихъ напорахъ и большой мощности турбинной установки, должны удовлетворять слѣдующимъ главнымъ требованіямъ.

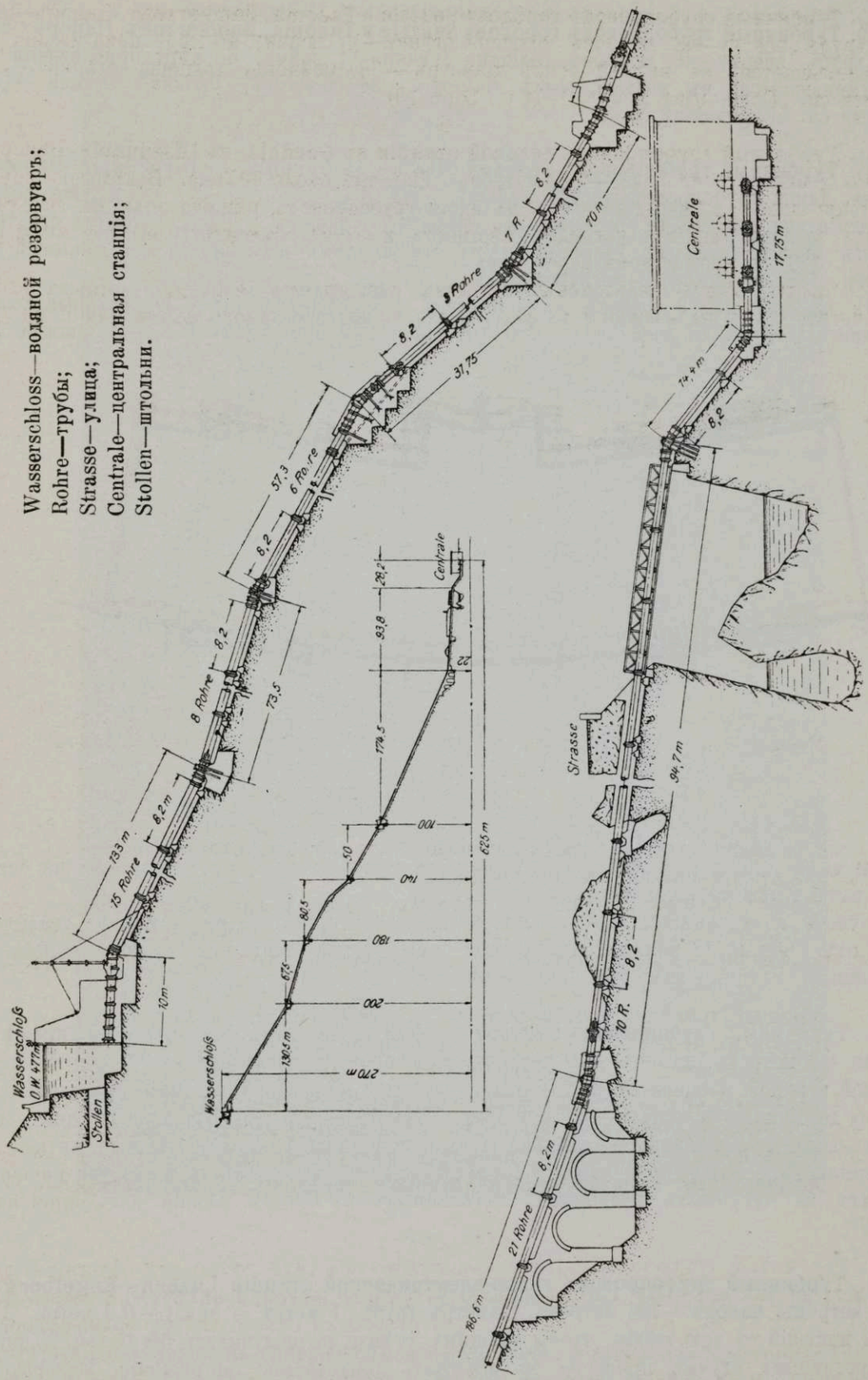
Прежде всего, такой трубопроводъ долженъ быть по возможности короткимъ, даже если бы, по мѣстнымъ условіямъ, устройство такового и встрѣчало затрудненія. Возможно малая длина такой подводящей трубы требуется, во первыхъ, для уменьшенія стоймости ея окраски и ремонта, а во вторыхъ — для возможно болѣе совершенной регулировки скорости турбинъ, для достиженія каковой въ высшей степени важно уменьшить массу воды, находящейся въ подводящей трубѣ.

При расчетѣ такихъ трубъ принимаютъ степени надежности отъ 3 до 6. Въ Америкѣ обыкновенно принимаютъ степень надежности отъ 3 до 4 для короткихъ трубопроводовъ большого діаметра, съ малою скоростію теченія воды и при турбинахъ съ постоянной нагрузкой; въ тѣхъ же случаяхъ, гдѣ трубопроводъ имѣетъ большую длину и малый діаметръ, ведетъ воду при большой скорости и питаетъ турбины съ сильно перемѣнной нагрузкой при регулированіи измѣненіемъ количества подаваемой воды, берутъ степень надежности отъ 4 до 6. Въ Европѣ держатся преимущественно высокихъ степеней надежности, какъ видно изъ описаній исполненныхъ Европейскихъ трубъ.

Въ томъ случаѣ, если турбинный трубопроводъ идетъ сперва на большомъ протяженіи горизонтально, а затѣмъ, вблизи турбинъ, идетъ съ большимъ наклономъ къ горизонту, слѣдуетъ, при проектированіи его, имѣть въ виду возможность сплющиванія его въ томъ случаѣ, если быстро откроютъ задвижки у турбинъ и вода въ наклонной части настолько быстро будетъ ускорять свое движеніе, что за нею не поспѣетъ вода горизонтальной части трубопровода; при этомъ въ трубопроводѣ можетъ образоваться разрѣженіе (пустота) и трубы могутъ быть сплющены наружнымъ давленіемъ воздуха.

Для возможности свободнаго расширенія турбинныхъ трубопроводовъ часто оказывается достаточнымъ присутствія въ нихъ колѣнъ, но иногда приходится устраивать и спеціальные расширители, какъ видно изъ послѣдующихъ описаній. Во всякомъ случаѣ, нижній конецъ трубопровода долженъ всегда быть *укрѣпленъ самымъ солиднымъ образомъ*, для того, чтобы онъ оставался неподвижнымъ и своимъ перемѣщеніемъ вслѣдствіе расширенія не разстраивалъ бы самой турбинной установки.

Слѣдуетъ обратить вниманіе на то, чтобы при скольженіи по опорамъ расширяющагося и сокращающагося отъ измѣненій температуры трубопровода онъ не сдиралъ своей окраски или асфальтировки. Для этого иногда приходится принимать спеціальныя мѣры (Engineering News, 1903 г., Jan. 8).



Чер. 138.

Послѣ этихъ общихъ замѣчаній опишемъ теперь вкратцѣ нѣсколько клепаныхъ турбинныхъ трубопроводовъ. Они представляютъ интересъ, такъ какъ часто идутъ въ горныхъ мѣстностяхъ, вертикально или вообще съ большимъ наклономъ къ горизонту, такъ что здѣсь приходится думать самымъ серьезнымъ образомъ о воспринятіи вѣса трубъ и воды и о возможности свободнаго и раціональнаго расширенія трубопровода.

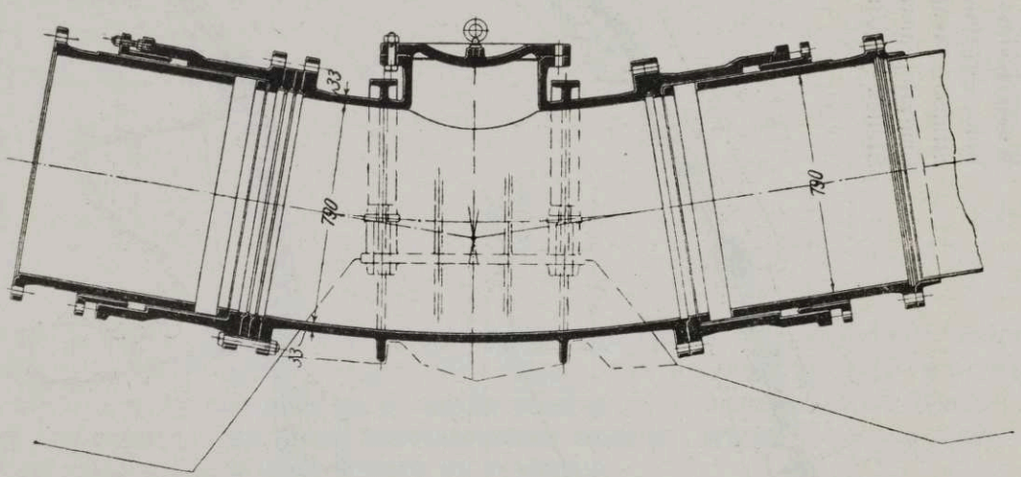
1). **Турбинный трубопроводъ Ніагарскаго водопада; установка Общества The Niagara Falls Hydraulic Power & Manufacturing Company.** Напоръ—210 футъ. Діаметръ трубопровода

вверху—11 футъ, внизу — 13 футъ. Толщина стѣнки вверху—$^5/_{16}$ дюйма; внизу—$1^1/_8$ дюйма. Интересныя подробности относительно воспринятія смѣщающихъ силъ, которое производится при помощи тягъ, и всѣ подробности, съ чертежами и фотографіями, см. „The Engineering Record“, 1900 г., Jan. 20.

2). **Турбинный трубопроводъ городовъ Seattle и Tacoma, Вашингтонъ.** Напоръ—872 фута. Діаметръ трубъ вверху—48 дюймовъ, толщина стѣнки—$^1/_4$ дюйма; по мѣрѣ приближенія къ низу діаметръ уменьшается; въ низшей точкѣ діаметръ — 36 дюймовъ, толщина стѣнки—$^3/_4$ дюйма (подробности см. „Engineering News“, 1904 г., Sept. 29).

3). **Турбинный трубопроводъ силовой станціи въ Gordola, въ Швейцаріи.** Напоръ около 260 метровъ. Длина трубопровода — 670 метровъ. Діаметръ около 800 mm. Вслѣдствіе неудобствъ для отчужденія виноградниковъ, по которымъ идетъ трубопроводъ, рѣшили положить его такъ, что онъ слѣдуетъ за естественными уклонами мѣстности и этимъ объясняется его странный на видъ профиль, чер. 138, со множествомъ переломовъ.

Въ каждый изъ 9 переломовъ вставленъ расширитель, чер. 139, который позволяетъ также раздвигать трубы на величину до 200 mm, для смѣны прокладокъ между флянцами. Каждая



Чер. 139.

вѣтвь трубы между двумя сосѣдними расширителями укрѣплена въ мѣстѣ перелома на бетонномъ массивѣ, а затѣмъ лежитъ на каменныхъ опорахъ.

Трубопроводъ склепанъ изъ листовъ, которыхъ толщина, начиная сверху, увеличивается постепенно отъ 5 mm до 18 внизу. Заклепочные швы сперва одиночные, потомъ двойные и, наконецъ, тройные. Флянцы—стальные, раскатанные изъ цѣльной болванки.

4). **Турбинный трубопроводъ силовой станціи въ Kardaun, bei Bozen, въ Тиролѣ.** Длина линіи—около 416 метровъ, напоръ—210 метровъ, трубопроводъ раздѣленъ на 11 частей, изъ которыхъ у самой верхней толщина стѣнки—5 mm, а затѣмъ у каждой части она возрастаетъ на 1 mm, доходя внизу до 15 mm. Матеріалъ—литое желѣзо. Діаметръ—900 mm. Продольные швы—двойные, поперечные—одиночные. Флянцы—желѣзные, а въ самой нижней части—стальные, литые.

Линія идетъ почти по наклонной прямой и ввиду этого имѣетъ всего три расширителя; трубы лежатъ на чугунныхъ подушкахъ, задѣланныхъ въ бетонъ. Общій видъ линіи показанъ на чер. 140.

5). **Турбинный трубопроводъ гидро-электрической станціи Luzern—Engelberg.** Длина линіи—640 метровъ, напоръ—306 метровъ, діаметръ трубъ: 1 метръ, а внизу—0,9 метра. Діаметръ внизу взятъ меньшій съ тою цѣлію, чтобы толщина стѣнки не получилась бы болѣе 25 mm, такъ какъ, въ противномъ случаѣ, пришлось бы понижать допускаемое напряженіе. Матеріалъ — Сименсъ-Мартеновское литое желѣзо; швовъ — двойной и тройной, въ напускъ. Флянцы — изъ стальныхъ болванокъ. Соединенія флянцевъ въ верхней части — по сист. T. Bell & Co., in Kriens, чер. 141, а внизу — по сист. Зульцеръ, чер. 142. *

---

* На чер. 141 нѣкоторые размѣры пропущены и потому здѣсь мы приводимъ ихъ. Именно, толщина флянцевъ равна діаметру болта, т. е. 40 mm, діаметръ заклепки — 25 mm, толщина горловой части флянца, охватывающей трубу, на тонкомъ концѣ, равна 20 mm, разстояніе отъ оси болта до наружной поверхности трубы — 70 mm.

Толщины стѣнокъ трубопровода опредѣлялись такимъ образомъ, чтобы вездѣ имѣлась надежность на разрывъ статическимъ давленіемъ не меньше пятикратной. Для верхнихъ частей трубы, начиная отъ водяного резервуара и до того мѣста, гдѣ напоръ доходитъ до 250 метровъ, употреблялось желѣзо съ коэффиціентомъ крѣпости на разрывъ отъ 36 до 42 kg/□mm и съ удлиненіемъ въ 22%, а для частей трубы, лежащихъ ниже этой границы, т. е. подверженныхъ напору



Чер. 140.

отъ 250 метровъ и болѣе, примѣнялось желѣзо съ коэффиціентомъ крѣпости отъ 34 до 40 kg/□ mm, и съ удлиненіемъ въ 25%.

Нормальная длина каждой отдѣльной части трубы составляетъ 8 метровъ. Для возможности расширенія имѣются скользящіе расширители (сальники) съ бронзовой набивкой; ходъ расширителя — около 200 mm.

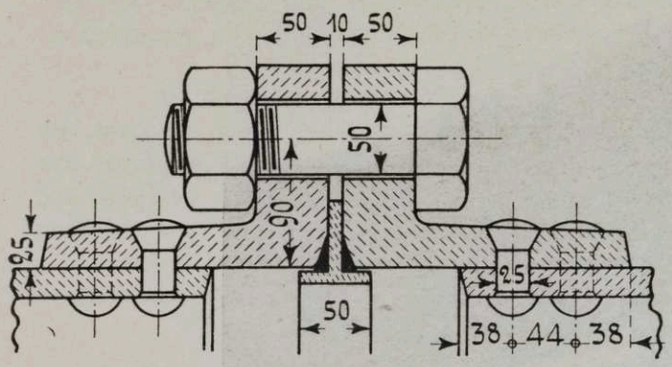
Каждая труба лежитъ на сѣдлѣ изъ углового желѣза, № 22.

Для возможности смѣны прокладокъ между флянцами въ мѣстахъ перелома линіи устроены расширители (чер. 143, справа вверху). При помощи длинныхъ болтовъ *b* можно, развинтивши флянецъ, втянуть часть *a* внутрь настолько, что можно смѣнить прокладку.

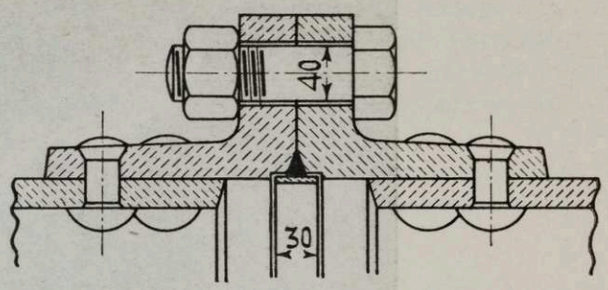
6). Турбинный трубопроводъ силовой станціи въ Инсбрукѣ. Линія идетъ все время по прямой, съ уклономъ въ 33°, и лишь передъ самой силовой станціей переходитъ въ горизонталь-

ную. Длина наклонной части—327 метровъ. Напоръ—187 метровъ, діаметръ трубы—1250 mm. Матеріалъ—литое желѣзо. Толщина стѣнки возрастаетъ отъ 8 до 21 mm. Продольные швы—одиночные, двойные и тройные, по мѣрѣ приближенія къ низу; поперечные—одиночные и двойные. Трубопроводъ имѣетъ двѣ неподвижныя точки: внизу и на срединѣ длины, гдѣ устроенъ расширитель. Каждая половина трубы можетъ расширяться вверхъ (передъ верхнимъ резервуаромъ тоже есть

Чер. 142.



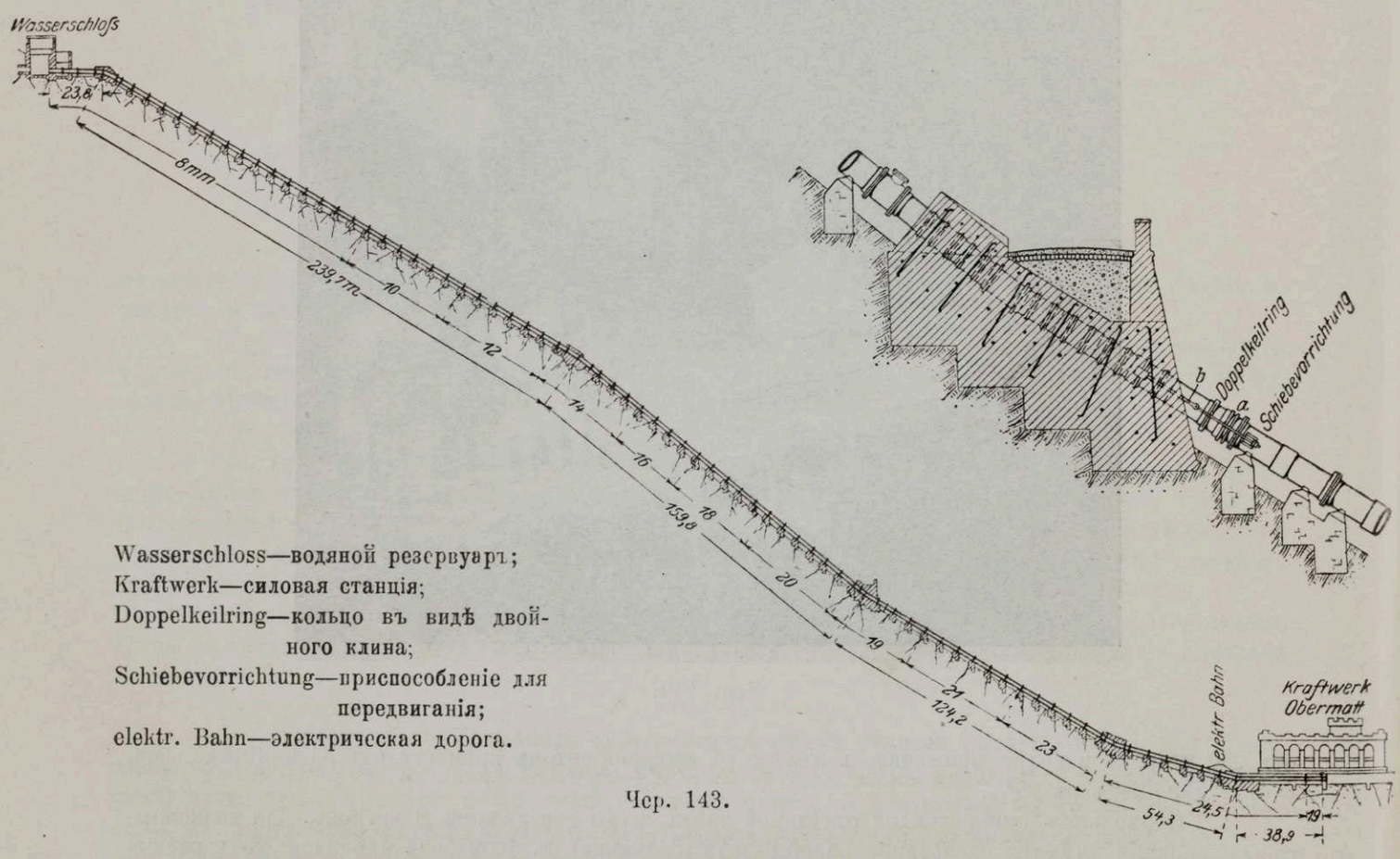
Чер. 141.



расширитель). Профиль линіи и расположеніе опоръ и расширителей можно найти въ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure или у *Mattern* (см. объ этой послѣдней книгѣ далѣе).

Соединеніе флянцевъ этой трубы показано въ *Атласѣ*, табл. 114, фиг. 1.

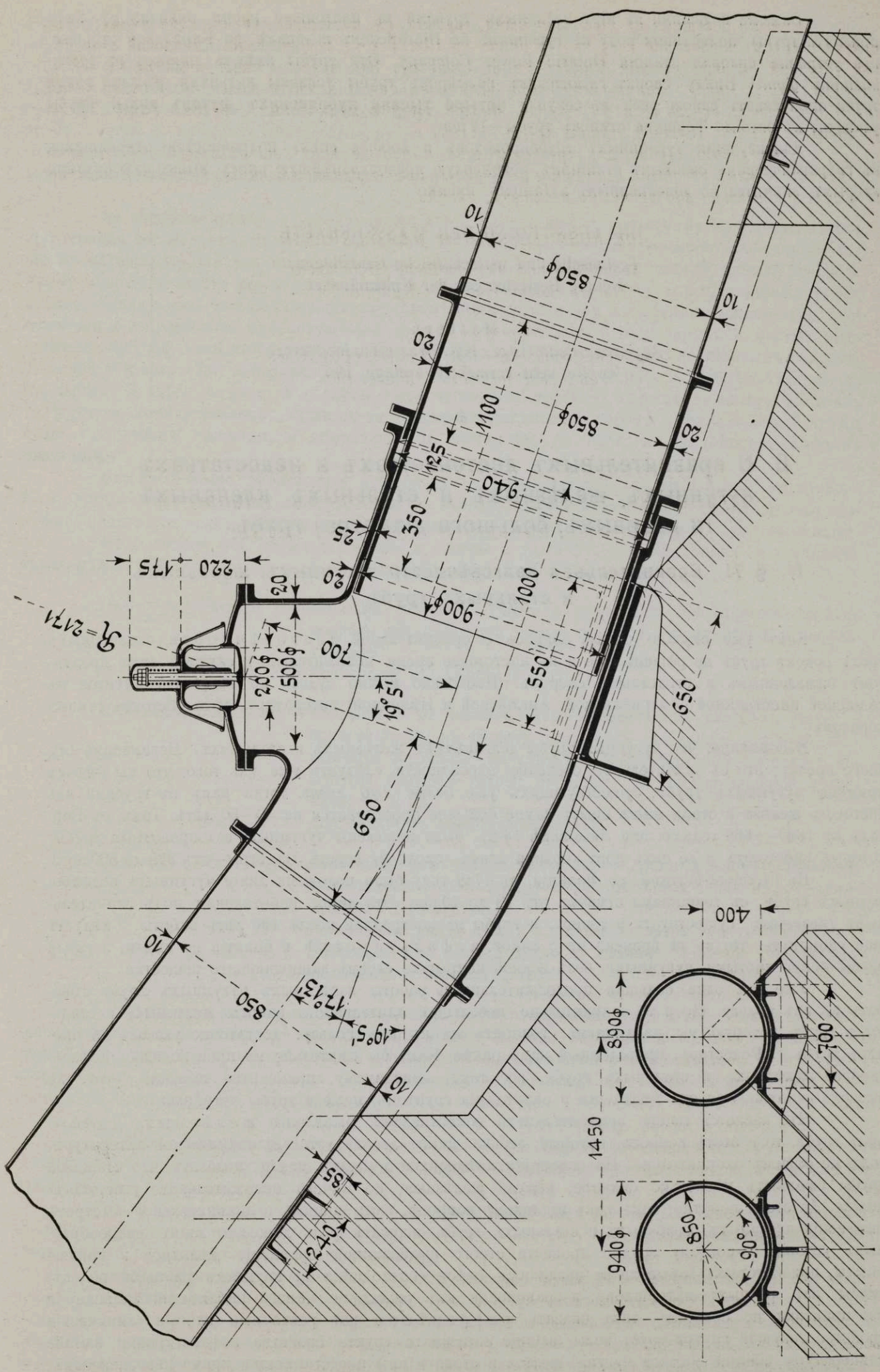
7). Сточныя труба для спуска изъ водохранилища излишней воды на силовой станціи „La Dernier", Orbe. Діаметръ трубы—850 mm, длина—722 метра, высота паденія—237 метровъ. Тол-



Wasserschloss—водяной резервуаръ;
Kraftwerk—силовая станція;
Doppelkeilring—кольцо въ видѣ двойного клина;
Schiebevorrichtung—приспособленіе для передвиганія;
elektr. Bahn—электрическая дорога.

Чер. 143.

щина въ 10 mm придана трубѣ ввиду того, что хотя большого давленія въ ней не бываетъ, но за то бываютъ сильные удары въ то время, когда вода въ нее внезапно устремляется или наоборотъ, бросается въ открытыя быстро напорныя трубы. Трубопроводъ лежитъ на солидныхъ опорахъ изъ камня или бетона, опираясь на нихъ при посредствѣ чугунныхъ подушекъ; для доступа въ трубу имѣются лазы, а для предупрежденія образованія въ трубѣ пустоты—клапаны для всасыванія воздуха, открывающіеся внутрь трубы; безъ такихъ клапановъ труба, какъ сказано раньше, рискуетъ быть сплющенной. Часть трубы съ опорой, лазомъ и воздушнымъ клапаномъ и показана на чер. 144. Рядомъ лежатъ двѣ такихъ трубы, какъ и видно на поперечномъ разрѣзѣ.


10
850ϕ
10
20
850ϕ
20
1100
940
125
350
25
20
900ϕ
1000
550
650
220
175
20
700
500ϕ
200ϕ
19°5'
650
10
850
17°13'
19°5'
10
35
240
400
890ϕ
700
1450
940ϕ
850
90°

Чер. 144.

Самыми большими въ мірѣ клепаными трубами въ настоящее время, повидимому, надо признать трубы, подводящія воду къ турбинамъ на Ніагарскомъ водопадѣ, на Канадской сторонѣ, гдѣ устроена силовая станція Ontario Power Company. Эти трубы имѣютъ діаметръ въ *восемнадцать футъ*! Ввиду своихъ гигантскихъ размѣровъ трубы усилены кольцами. Каждая такая труба пропускаетъ сквозь себя въ секунду **четыре тысячи кубическихъ футовъ воды!** Трубы уложены въ бетонъ. Толщина стѣнокъ трубы—12 mm.

Для изученія турбинныхъ трубопроводовъ и вообще всѣхъ подробностей, относящихся къ гидравлическимъ силовымъ станціямъ, рекомендую превосходнѣйшую книгу, вышедшую недавно вторымъ, значительно дополненнымъ изданіемъ, именно

„DIE AUSNUTZUNG DER WASSERKRAFTE
Technische und wirtschaftliche Grundlagen,
Neuere Bestrebungen der Kulturländer".
von
E. Mattern,
Regierungsbaumeister, Kgl. Wasserbauinspektor.
Zweite, sehr vermehrte Auflage. 1908.

———*———

B. О сравнительныхъ достоинствахъ и недостаткахъ чугунныхъ, желѣзныхъ и стальныхъ клепаныхъ (и сварныхъ, большого діаметра) трубъ.

I). § 71. Сравнительная долговѣчность чугунныхъ, желѣзныхъ и стальныхъ трубъ.

Какъ уже сказано ранѣе, вопросъ о сравнительной долговѣчности означенныхъ трехъ родовъ трубъ не рѣшенъ еще и въ настоящее время положительно и служитъ даже предметомъ оживленныхъ и страстныхъ споровъ. Насколько можно судить по тому, что имѣется въ обширной иностранной (Американской, Англійской и Нѣмецкой) литературѣ, дѣло обстоитъ такимъ образомъ.

Несомнѣнно, что чугунныя трубы долговѣчнѣе желѣзныхъ и стальныхъ. Независимо отъ всего прочаго это съ значительной степенію вѣроятности слѣдуетъ уже изъ того, что мы имѣемъ примѣры чугунныхъ трубъ, существующихъ уже *болѣе 200 лѣтъ*, тогда какъ съ трубами изъ листового желѣза и стали нашъ опытъ самое большее простирается на 30—50 лѣтъ. Такъ, въ Версалѣ въ 1660—1668 годахъ, при Людовикѣ 14-мъ, были положены чугунныя водопроводныя трубы, которыя работаютъ и до сихъ поръ (полная длина—около 24 верстъ, діаметры—отъ 325 до 500 mm).

Въ Clermont-Ferrand, во Франціи, въ 1748 году была положена линія чугунныхъ водопроводныхъ трубъ, съ толщинами стѣнокъ отъ 13 до 20 mm. Эта линія, работающая подъ значительнымъ давленіемъ, существуетъ и теперь, и трубы не пострадали послѣ 160 лѣтъ работы. Слѣдуетъ еще упомянуть, что въ тѣ времена ни о какой асфальтировкѣ и понятія не имѣли, а клали трубы прямо чистыми, чугунными, безъ всякой покрышки слоемъ защищающаго вещества.

Уже эта одна большая продолжительность работы извѣстныхъ чугунныхъ трубъ говоритъ въ ихъ пользу. Но и та сравнительно небольшая длительность работы желѣзныхъ и стальныхъ трубъ, которую мы наблюдаемъ, говоритъ не въ ихъ пользу; достаточно указать на примѣръ трубъ г. Рочестеръ, приведенный нами ранѣе. Какъ бы тщательно ни производилась асфальтировка желѣзныхъ и стальныхъ трубъ, все таки, повидимому, приходится признать, что онѣ быстрѣе разрушаются отъ ржавленія и разъѣданія грунтомъ, нежели трубы чугунныя.

Что касается теперь сравнительнаго сопротивленія ржавленію желѣзныхъ и *стальныхъ* трубъ, то и этотъ вопросъ, который весьма много дебатируется въ технической литературѣ, тоже не рѣшенъ окончательно. На основаніи имѣющихся данныхъ можно полагать, что стальныя трубы ржавѣютъ нѣсколько сильнѣе, нежели желѣзныя, но ничего положительнаго утверждать нельзя. Да это и понятно, такъ какъ въ такомъ вопросѣ, какъ вопросъ о сравнительной быстротѣ ржавленія чугунныхъ, желѣзныхъ и стальныхъ трубъ, играютъ роль довольно много разнообразныхъ условій, и поэтому трудно провести строго выдержанное сравненіе. Дѣлались и прямые опыты, при которыхъ зарывали въ различныя смѣси (подходящія къ грунтамъ разныхъ родовъ) трубы изъ разныхъ матеріаловъ, и сравнивали ихъ ржавленіе. Много наблюденій записано и изъ практики, но сравнить, такъ сказать, равноцѣнно всѣ различныя вліянія (химическія свойства текущей внутри трубъ воды, вліяніе наружнаго грунта, свойства асфальтировки, вліяніе температуры, вліяніе состава чугуна, желѣза и стали и пр.) представляется прямо невозможнымъ.

Поэтому, можно принять, что чугунная труба нѣсколько долговѣчнѣе желѣзной, а эта послѣдняя нѣсколько долговѣчнѣе стальной.

Какъ уже не разъ было сказано, для увеличенія долговѣчности желѣзныхъ и стальныхъ трубъ (клепаныхъ и сварныхъ) въ высшей степени важно, чтобы трубы эти и снаружи и извнутри были бы покрыты тонкимъ слоемъ какого нибудь защищающаго ихъ вещества. Такое покрываніе трубъ, смотря по матеріалу, употребленному на него, носитъ названіе или асфальтировки или *гальванизированія* (цинкованія). Входить здѣсь въ подробности по этому вопросу не будемъ; укажемъ только самое существенное, отсылая интересующихся къ литературѣ.

a). Асфальтировка.—Асфальтировка здѣсь, какъ и при чугунныхъ трубахъ, производится при помощи весьма разнообразныхъ составовъ, но преимущественнымъ распространеніемъ въ качествѣ матеріаловъ для нея являются смолы, асфальтъ и минеральная резина (mineral rubber). Кромѣ непроницаемости для вредныхъ вліяній, могущихъ разъѣдать трубу, хорошая асфальтировка должна обладать еще весьма важнымъ качествомъ—она должна при измѣненіяхъ температуры расширяться и сокращаться *приблизительно въ той же мѣрѣ какъ и сама труба*, и должна быть приэтомъ тягучей, такъ чтобы не лупиться, а обволакивать трубу упругимъ, податливымъ чехломъ. Толщина готоваго слоя асфальтировки не должна быть менѣе $^1/_{32}$ дюйма, и доходитъ иногда до $^1/_{12}$ дюйма. И здѣсь, подобно тому, какъ и при чугунныхъ трубахъ, самымъ главнымъ условіемъ успѣшности асфальтированія является то обстоятельство, **чтобы передъ асфальтировкой трубы были безусловно чистыми, и абсолютно не имѣли бы на себѣ ни малѣйшихъ слѣдовъ ржавчины.**

Весьма полезно производить асфальтировку передъ самой укладкой трубъ въ канавы. Если трубы были асфальтированы раньше, на заводѣ, то весьма полезно, если это только возможно, произвести еще и вторичную асфальтировку передъ самой укладкой трубъ въ канавы.

Подробности объ асфальтировкахъ и вообще о долговѣчности желѣзныхъ и стальныхъ трубъ можно найти въ слѣдующихъ статьяхъ журнала „Engineering News“:

1903 годъ. Октябрь 1.— Большая статья Ф. Рифль о желѣзныхъ и стальныхъ трубахъ вообще, гдѣ говорится между прочимъ и о ржавленіи и асфальтировкѣ.
Декабрь 3.— Дополненія къ сказанной статьѣ.

1906 годъ. Апрѣль 16.— Большая и въ высшей степени интересная статья J. Mayer о проектѣ трубы въ 18 футъ діаметромъ для новыхъ турбинъ Ніагарскаго водопада; въ статьѣ разсмотрѣны всѣ вопросы о постройкѣ будущей трубы: прочность ея на сплющиваніе, долговѣчность и пр.
Май 17. — Дополненія къ предыдущей статьѣ.

1908 годъ. Янв. 30. — Извлеченіе изъ доклада Томсона о сравнительномъ ржавленіи желѣзныхъ и стальныхъ трубъ (лабораторные опыты надъ сравнительнымъ ржавленіемъ).
Май 28. — Упомянутая ранѣе статья о ржавленіи трубъ города Рочестеръ.
Іюль 2. — Извлеченіе изъ доклада Howe и Bradley Stoughton о ржавленіи желѣзныхъ и стальныхъ трубъ.

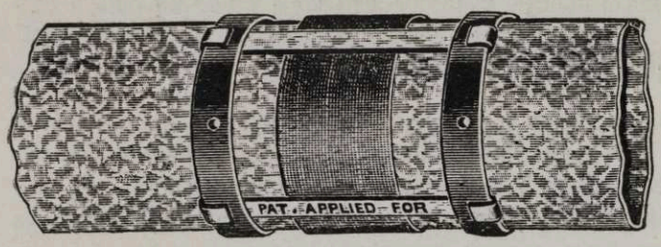
Слѣдуетъ еще указать на весьма обширную и содержательную статью *Wood*'а относительно покрышекъ и лаковъ для предохраненія желѣза и стали отъ ржавленія; хотя она и не касается спеціально трубъ, но при изученіи вопроса о предохраненіи этихъ послѣднихъ отъ ржавленія можетъ быть весьма полезна. Она помѣщена въ „Transactions of the American Society of Mechanical Engineers“, Vol. XV, 1894 годъ.

b). Гальванизированіе. Эта операція состоитъ въ покрываніи поверхности трубъ слоемъ сплава, въ которомъ главную составную часть образуетъ *цинкъ*, почему такія трубы иногда называютъ также оцинкованными.

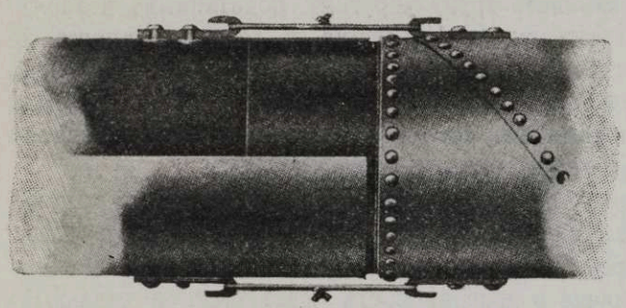
Гальванизированныя трубы употребляются сравнительно рѣдко. Ихъ нельзя укладывать въ землю, такъ какъ часто кислоты разъѣдаютъ цинкъ; поэтому, гальванизированныя трубы въ этомъ случаѣ необходимо еще и асфальтировать.

Гальванизированныя трубы изъ тонкихъ листовъ (дренажныя и т. п., вообще для небольшого давленія) иногда соединяютъ такимъ образомъ, что одинъ конецъ трубы уменьшаютъ въ діаметрѣ и, обмотавъ его раза три парусиною, пропитанною асфальтомъ, вставляютъ въ конецъ слѣдующей трубы; мѣсто соединенія снаружи также обертываютъ туго парусиной, пропитанною асфальтомъ, и затѣмъ соединяютъ обѣ трубы при помощи полосокъ, зацѣпленнымъ за два кольца,

приклепанныя къ трубамъ, чер. 145 (см. напр. „Engineering News“, 1903 г., Febr. 19) или при помощи проволокъ, зацѣпленныхъ за крючки, чер. 146 и т. п. На чер. 146 изображено соединеніе тонкостѣнныхъ спирально-клепаныхъ трубъ завода American Spiral Pipe Works; болѣе тонкая часть, приклепанная къ правой трубѣ, обертывается парусиною, пропитанною смолой или сурикомъ, вставляется въ лѣвую трубу и обѣ части стягиваются проволокою, зацѣпленною за крючки. Слѣдуетъ еще указать на то, что иногда въ практикѣ, для увеличенія долговѣчности желѣзной или стальной трубы, прибѣгаютъ къ защитѣ ея толстымъ слоемъ какого нибудь другого вещества, способнаго противостоять разъѣдающему дѣйствію жидкости (изнутри) и грунта (снаружи). Такъ, напримѣръ, выстилаютъ желѣзныя и стальныя трубы внутри деревомъ, или же и внутри и снаружи покрываютъ ихъ цементомъ (см., относительно перваго — „Häders Zeitschrift für Maschinenbau und Betrieb“, 1908 г., № 1, а относительно второго — „The Engineer“, 1901 г., May 3.



Чер. 145.



Чер. 146.

Въ практикѣ, при выборѣ матеріала трубъ, вопросъ объ изнашиваніи или ржавленіи далеко не является рѣшающимъ и приходится обращать вниманіе и на другія важныя обстоятельства, главнымъ образомъ на стоимость устройства и на его *безопасность*.

О сравнительной стоимости въ литературѣ имѣется слишкомъ мало данныхъ и, потомъ, вопросъ этотъ для каждой страны долженъ рѣшаться особо, поэтому здѣсь о немъ говорить совершенно не приходится. Относительно же безопасности можно сказать слѣдующее.

II). § 72. Сравнительная безопасность чугунныхъ и желѣзныхъ и стальныхъ трубъ.

Какъ уже пояснено ранѣе, желѣзныя и стальныя трубы, въ силу бо́льшей тягучести матеріала, несравненно лучше сопротивляются различнымъ экстреннымъ вліяніямъ, какъ то—ударамъ въ трубѣ вслѣдствіе внезапныхъ колебаній давленія, быстрой и неравномѣрной осадкѣ грунта, землетрясеніямъ и пр., нежели трубы чугунныя. Такимъ образомъ, если, съ одной стороны, всю линію чугунныхъ трубъ въ цѣломъ можно считать *долговѣчнѣе* въ смыслѣ разъѣданія, то въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ имѣются или ожидаются указанныя сейчасъ вліянія, линію клепаныхъ (или сварныхъ) желѣзныхъ и стальныхъ трубъ надобно считать *безопаснѣе*. Оцѣнить числомъ всѣ несчастныя послѣдствія разрыва трубопровода (смерть людей, порчу имущества, остановку въ ходѣ водоснабженія и пр.) представляется чрезвычайно труднымъ, но тѣмъ не менѣе ясно, что нерѣдко можетъ оказаться выгоднѣе—рисковать болѣе быстрымъ ржавленіемъ желѣзной или стальной трубы и возобновлять ее правильно, допустимъ, черезъ 30—40 лѣтъ, нежели рисковать тѣмъ, что трубопроводъ высокаго давленія или большой пропускной способности будетъ часто рваться и причинять остановки въ снабженіи людей питьевою водою или энергіей, если это трубопроводъ въ водянымъ турбинамъ, да еще будетъ производить наводненія. Эта точка зрѣнія ведетъ къ тому, что въ настоящее время въ практикѣ, въ большинствѣ случаевъ, установился такой порядокъ вещей, что трубопроводы для воды, какъ въ цѣляхъ водоснабженія, такъ и для доставки воды къ водянымъ турбинамъ, дѣлаются обыкновенно чугунными въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ не предвидится большихъ колебаній давленія и гдѣ само давленіе не превосходитъ 10—12 атмосферъ; наоборотъ, въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ ожидаются значительныя колебанія давленія въ трубопроводѣ, гдѣ ожидаются сильныя осадки грунта, и гдѣ давленіе въ нижней части трубы превосходитъ 10—12 атмосферъ, примѣняютъ охотнѣе трубы желѣзныя и стальныя (клепаныя или сварныя, а иногда и тѣ другія вмѣстѣ).

Примѣромъ выносливости стальной трубы могутъ служить 42- и 48-дюймовыя клепаныя трубы водопровода г. Newark, вокругъ которыхъ 23 Сентября 1905 г. былъ размытъ грунтъ, такъ что часть трубопроводовъ, около 50 футъ длиною, оказалась обнаженною и лежащею на вѣсу. Не смотря на это ни прочность, ни герметичность трубъ нисколько не пострадали (подробности и фотографію см. „The Engineering Record“, 1905 г., Octob. 14).

Примѣрами замѣны чугунныхъ трубъ, оказавшихся слишкомъ непрочными, стальными могутъ служить:

1). Чугунный трубопроводъ г. Каракасъ, работавшій при давленіи около 500 фунтовъ на □ дюймъ и подвергавшійся постояннымъ поломкамъ вслѣдствіе такого высокаго давленія, а также и вслѣдствіе постоянныхъ осадокъ грунта, по причинѣ землетрясеній; чугунныя трубы были въ опасныхъ мѣстахъ (сифоны черезъ долины и т. п.) замѣнены сварными стальными трубами, которыя работаютъ теперь безукоризненно.

2). На водопроводѣ г. Дунди, въ Англіи, чугунныя трубы на Тейскомъ мосту пришлось замѣнить стальными, такъ какъ первыя не выдерживали постоянныхъ сотрясеній.

С. Спирально-клепаныя трубы.

§ 73. Такія трубы изготовляются и пользуются распространеніемъ въ Америкѣ. Изъ крупныхъ фирмъ, изготовляющихъ такія трубы, назовемъ двѣ

1. — American Spiral Pipe Works, Chicago, Ill.

2. — Abendroth & Root Mfg. Co., Newburgh, N. Y., U. S. A.

Каталоги обѣихъ фирмъ содержатъ интересныя подробности. Для нѣкоторой иллюстраціи приводимъ здѣсь сперва отрывокъ изъ прейскуранта фирмы Abendroth & Root Mfg. Co.
(данныя завода American Spiral Pipe Works близки къ приводимымъ здѣсь).

Асфальтированныя трубы.

Діаметръ въ дюймахъ	Толщина по калибру *B. W. Gauge*	Разрывающее давленіе въ фунтахъ на □ дюймъ (приблизительно)
3	24	836
	22	1060
	20	1325
	18	1860
6	22	530
	20	665
	18	930
	16	1220
	14	1580
	12	2060
10	18	555
	16	740
	14	945
	12	1024
20	18	280
	16	370
	14	470
	12	620
	10	760
30	16	246
	14	315
	12	410
	10	510

При заказѣ трубъ согласно этой таблицѣ фирма совѣтуетъ брать допускаемое наибольшее рабочее давленіе никакъ не болѣе *четверти* приведеннаго въ таблицѣ разрывающаго давленія, т. е. рекомендуетъ степень надежности **не менѣе четырехъ**.

Приведемъ теперь еще нѣкоторыя свѣденія относительно *порядка* изготовленія трубъ и прочности ихъ.

На заводѣ Abendroth & Root Mfg. Co. спирально-клепаныя трубы изготовляются въ слѣдующемъ порядкѣ.

Стальныя или желѣзныя полосы для изготовленія трубъ получаются съ заводовъ всѣ съ одною точно опредѣленною шириною, именно $23^3/_4$ дюйма. Послѣ провѣрки размѣровъ и поверхностнаго осмотра, полосы, длина которыхъ бываетъ обыкновено около 10 футъ, разрѣзываются на полосы съ шириною въ $11^7/_8$ дюйма, причемъ эта операція дѣлается чрезвычайно точно, и потому заводъ не довѣряетъ ее фирмамъ, доставляющимъ полосы, производя эту работу у себя на спеціальномъ станкѣ. Послѣ этого на особомъ газовомъ горнѣ отдѣльныя полоски свариваются по длинѣ въ одну длинную ленту, длина которой бываетъ отъ 150 до 400 футъ, смотря по толщинѣ полосъ, и которая навивается на катушку, и въ это время подвергается осмотру.

Для сварки служитъ спеціальный газъ, отличающійся отъ свѣтильнаго.

Катушки съ лентой ставятся на особыя телѣжки и съ нихъ лента идетъ прямо въ спеціальную клепальную полуавтоматическую машину, причемъ для регулированія натяженія подаваемой ленты имѣется особый регуляторъ.

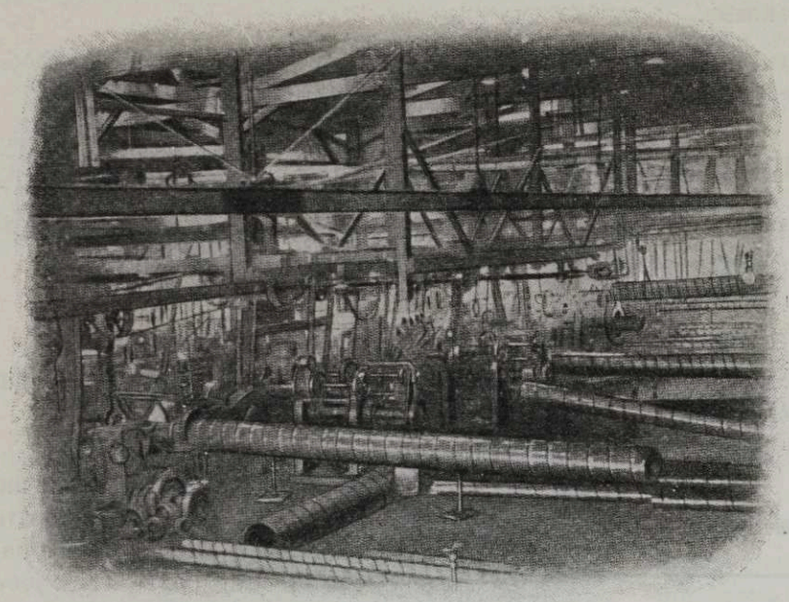
Общій видъ мастерской съ рядомъ такихъ машинъ показанъ на чер. 147.

Длина трубъ, выходящихъ изъ машины, бываетъ не болѣе 20—25 футъ, для удобства пересылки.

Послѣ изготовленія каждая труба пробуется гидравлическимъ давленіемъ, ранѣе, нежели она будетъ асфальтирована.

Асфальтировка на заводѣ *Root* производится при температурѣ около 400° Фаренгейта.

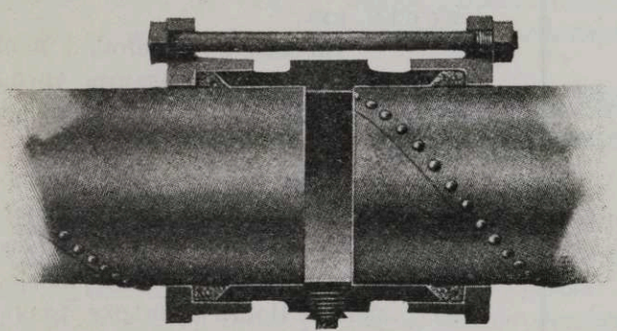
Заводъ готовитъ также и гальванизированныя трубы.



Чер. 147.

Какъ уже сказано ранѣе, спирально-клепаныя трубы гораздо прочнѣе обыкновенныхъ клепаныхъ, или, при той же прочности, легче. Опыты, произведенные съ разрушеніемъ такихъ трубъ, показали, что труба разрушается всегда въ цѣломъ мѣстѣ, и никогда — по спиральному шву. Съ другой стороны, идущій непрерывно кругомъ по спирали шовъ сообщаетъ трубѣ весьма значительную жесткость и способность сопротивляться сплющиванію.

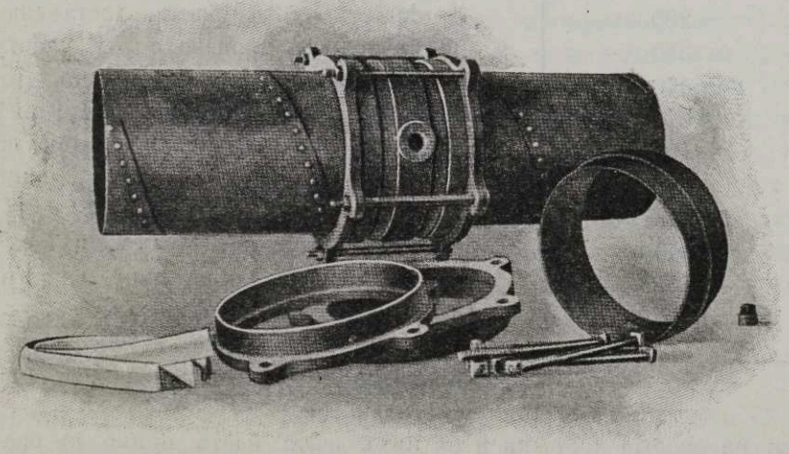
Герметичность трубъ обусловливается спеціальной подготовкой длинныхъ кромокъ листовъ передъ поступленіемъ въ машину и огромнымъ давленіемъ въ машинѣ, при которомъ производится клепка. Конструкція шва такова, что нерѣдко наблюдались случаи, когда швы, которые текли при небольшомъ давленіи, становились герметичными при повышеніи давленія.



Чер. 148.

Соединенія спирально-клепаныхъ трубъ производятся или флянцами, или же при помощи двойной муфты, надѣваемой на трубу, и затѣмъ закрываемой съ обоихъ концовъ крышками, которые притягиваются болтами, какъ въ сальникахъ. Такое устройство служитъ и расширителемъ, и очень рекомендуется заводами для водопроводныхъ трубъ, какъ асфальтированныхъ, такъ и гальванизированныхъ. Оно показано на чер. 148 въ разрѣзѣ и на чер. 149—въ перспективѣ, вмѣстѣ съ деталями его въ разобранномъ видѣ. Прокладкой для герметичности служитъ здѣсь резина. Такое соединеніе дозволяетъ отклоненіе осей трубъ на уголъ отъ 3 до 7° и работаетъ удовлетворительно при давленіяхъ до 40 атмосферъ.

На чер. 150 показана к о с а я муфта, дозволяющая отклоненіе осей трубъ на значительный уголъ.



Чер. 149.

D. § 74. Интересный примѣръ устройства клепаныхъ стальныхъ п а р о п р о в о д н ы х ъ трубъ большого діаметра представляютъ трубы, устроенныя въ Англіи въ 1893 году инж. C. H. Manning, Манчестеръ. Трубы имѣли въ діаметрѣ 20 дюймовъ и ихъ пришлось сдѣлать клепаными изъ стальныхъ листовъ ввиду отсутствія другихъ подходящихъ трубъ. Давленіе пара—высокое, хотя точно не указано. Колѣна, тройники и др. фасонныя части — тоже клепаныя изъ стальныхъ листовъ. Подробности объ этомъ интересномъ паропроводѣ см. въ жур-

налѣ „Transactions of the American Society of Mechanical Engineers“, Vol XV, 1894 (подробно, съ чертежами и фотографіей), или же въ „Engineering“, 1894 г., Feb. 2 (кратко).

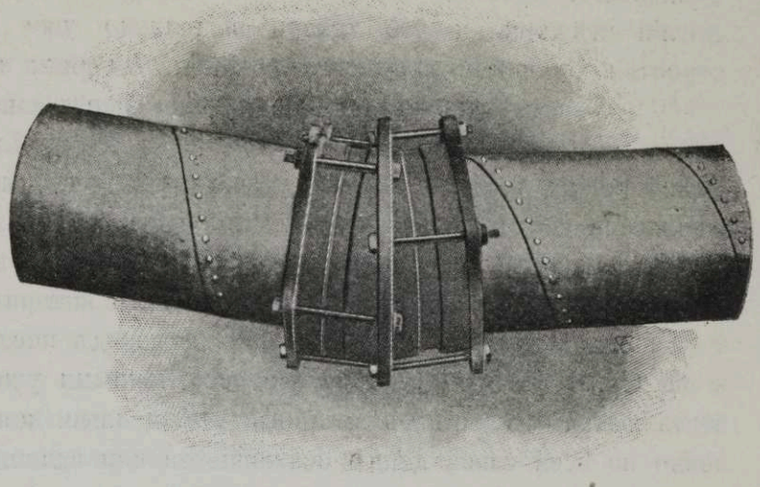
Укажемъ, въ заключеніе, еще на нѣкоторыя статьи, представляющія интересъ:

Въ журналѣ „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“ за 1906 годъ, № 2, имѣется подробное описаніе укладки подводной линіи трубъ въ Гамбургской гавани.

Въ журналѣ „Engineering News“, 1908 годъ, Aug. 6, имѣется описаніе способа починки 72-дюймовой стальной водопроводной трубы.

Въ журналѣ „The Engineering Record“, 1900 г., Sept. 22, имѣется описаніе починки подводной 36-дюймовой трубы, продранной землечерпалкой.

Въ томъ же журналѣ, за 1900 г., Jan. 20 имѣется описаніе 11-футовыхъ трубъ, ведущихъ воду въ турбины Ніагарскаго водопада. Интересны чертежи деталей для воспринятія громадной смѣщающей силы въ колѣнахъ и т. п.



Чер. 150.

Тамъ же, 1900 г., June 9, — описаніе клепаной трубы г. Питтсбурга, чертежи которой имѣются въ *Атласѣ*, на табл. 81, фиг. 25 и 26, и на табл. 109, фиг. 8—12.

Въ журналѣ „Le Génie Civil“, 1900 г., 23 Juin—клепаная труба въ 2,4mt діаметромъ, идущая въ видѣ арочнаго моста въ 50mt пролетомъ.

Желѣзныя и стальныя трубы съ зажимными брусками

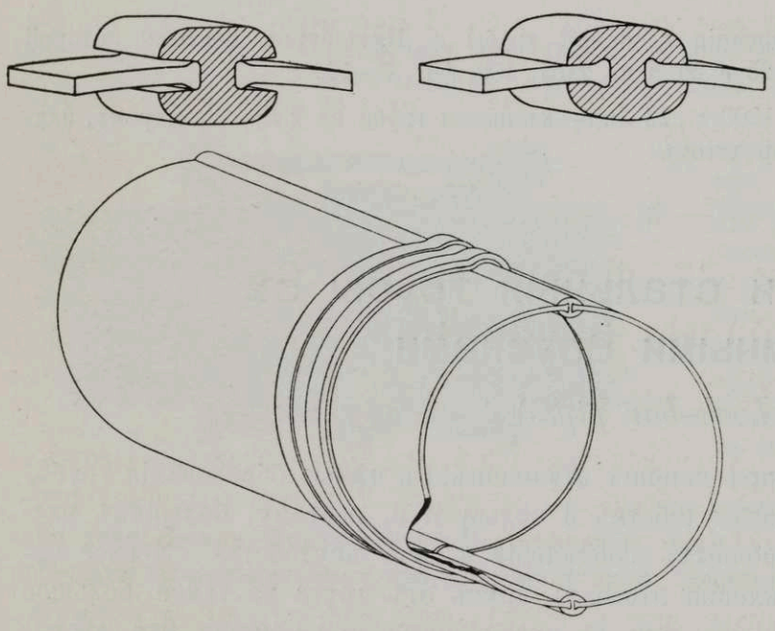
(Lock-bar pipes).

§ 75. Соединенія листовъ при помощи заклепокъ, съ цѣлью образованія трубъ, котловъ, баковъ и пр., имѣютъ много удобствъ и пользуются, поэтому, большимъ распространеніемъ. Но есть у заклепочныхъ соединеній и свои неудобства. Первое неудобство состоитъ въ томъ, что заклепки отстоятъ другъ отъ друга на такое большое разстояніе, что нажатія, производимаго ими на соединенные при помощи ихъ листы, оказывается недостаточно для того, чтобы мѣсто соединенія было бы герметичнымъ, и поэтому заклепочный шовъ надо всегда еще и чеканить, а это добавочная операція, которая причиняетъ лишній расходъ и результаты которой легко разстраиваются, такъ что приходится подчеканивать шовъ вновь.

Второе, и еще болѣе серьезное, неудобство заклепочнаго соединенія состоитъ въ томъ, что въ мѣстѣ соединенія листы всегда ослаблены отверстіями, въ которыхъ помѣщаются заклепки. Уменьшить это ослабленіе можно, но устранить его совсѣмъ — нельзя или весьма трудно, такъ что возможныхъ попытокъ этого (см. мои „Детали Машинъ“) до сихъ поръ не дѣлалось. Но является мысль — нельзя ли *переконструировать* соединеніе такъ, чтобы ослабленія не было? Если, согласно идеѣ Рело, мы будемъ разсматривать заклепку и окружающій ее листъ какъ поступательную пáру съ излишне стѣсненной подвижностію, благодаря присутствію второй головки у заклепки, то, слѣдуя тѣмъ же идеямъ Рело, мы можемъ задать себѣ вопросъ — „Что̀ выйдетъ, ежели мы внутренній, цѣльный элементъ пáры, заклепку, сдѣлаемъ наружнымъ, полымъ, а наружный, полый элементъ пáры, листъ, сдѣлаемъ внутреннимъ, сплошнымъ“? Нѣчто,

подобное заклепкѣ или цѣлому ряду ихъ, или наконецъ сплошное тѣло, если окажется возможнымъ заклепки эти слить въ непрерывную полосу (чего нельзя сдѣлать при обычныхъ заклепкахъ, такъ тогда мы сплошь перерѣжемъ листъ, ибо заклепки стоятъ не на краю его, а отступя отъ края), будетъ охватывать листы, въ которыхъ нѣтъ дыръ, нѣтъ ослабленія. Что же тогда получится? А получится то, что̀ придумалъ, вѣроятно не зная ни Кинематики, ни идей Рело, съ которыхъ я началъ „ученое“ объясненіе, простой Австралійскій мастеръ, *Мефанъ Фергюсонъ*, надъ чѣмъ сперва въ Англіи смѣялись, и что̀ теперь выполнено уже въ сотняхъ верстъ длины трубъ и строится хорошими заводами Австраліи, Америки и той же Англіи.

Конструкція соединенія Мефана Фергюсона въ высшей степени проста и понятна. Ее можно понять изъ фиг. 21 и 22, табл. 81 *Атласа*, или же изъ чер. 151. Здѣсь концы листовъ слегка утолщаются, высаживаются, и за эти то утолщенія цѣпляется соединяющее листы тѣло, дыръ же въ листѣ и ослабленія — конечно, нѣтъ. Соединяющее тѣло, для дешевизны изготовленія и полной герметичности, дѣлается въ видѣ длиннаго *бруска*, на двухъ сторонахъ котораго имѣется два продольныхъ углубленія или канавки. Сѣченіе бруска передъ постановкой на мѣсто видно на фиг. 21 и на чер. 151 вверху, слѣва (со вставленными уже концами листовъ). Въ эти выемки вставляются съ обѣихъ сторонъ утолщенные концы листовъ, затѣмъ брусокъ постепенно по всей своей длинѣ осаживается или сдавливается сильнымъ прессомъ въ штампѣ соотвѣтствующей формы (эта операція видна на чер. 153) — и соединеніе готово. Свойства его понятны. Степень ослабленія листа здѣсь равна нулю, а *степень прочности — единицѣ*, такъ какъ дыръ нѣтъ. *Чеканки соединеніе не требуетъ*, оно герметично само по себѣ. Устройство въ высшей степени просто, не требуетъ сверленія дыръ и пр.



Чер. 151.

Сдѣлавши общій очеркъ этого новаго соединенія, дадимъ теперь нѣкоторыя подробности.

Прежде всего — краткая исторія развитія этого соединенія.

Въ 1898 году въ Австраліи явилась надобность устроить водопроводъ длиною около *500 верстъ*, именно понадобилось провести воду на золотыя розсыпи Coolgardie, въ Западной Австраліи, изъ горной цѣпи Green Mount, лежащей около 50 верстъ вглубь отъ западнаго берега Австраліи, потому что ближе достаточнаго количества воды не оказалось. Потребность въ водѣ была крайне настоятельная, такъ какъ отсутствіе воды вело къ большимъ неудобствамъ: убойный скотъ, пригоняемый на розсыпи, приходилось бить на мясо немедленно, ибо его нечѣмъ было поить; разводить скотъ было нельзя; напоить въ день пять лошадей стоило 10 рублей, для золотыхъ работъ брали соленую воду и пр. Ввиду этого правительство рѣшило, наконецъ, провести воду изъ упомянутой мѣстности, за 500 верстъ, ибо ближе воды не было. Въ сутки должно подаваться 5000000 галлоновъ воды. (Впослѣдствіи это число было увеличено до 6000000 галлоновъ). Дѣло представлялось настолько сложнымъ, что въ Англіи была образована особая Комиссія изъ извѣстныхъ профессоровъ и инженеровъ (Carruthers, Deacon и Unwin), съ цѣлію изученія вопроса и разсмотрѣнія различныхъ проектовъ новаго водопровода. И вотъ скромный Австралійскій мастеръ, Мефанъ Фергюсонъ,

предложилъ и свою систему трубъ, сущность которой сейчасъ объяснена. Но Комиссія нашла, что было бы „рискованно“ — рѣшиться дѣлать такое большое сооруженіе по неизвѣстному способу, который еще не испробованъ въ широкихъ размѣрахъ (а если бы онъ уже былъ испробованъ, тогда для чего же было бы и созывать Комиссію изъ знаменитостей! Ее за тѣмъ и созвали, чтобы она своимъ умомъ рѣшила наперед, что̀ будетъ *потомъ*).

Комиссія рекомендовала сварныя трубы, съ продольнымъ швомъ, заваренным на газовомъ горнѣ, и нашла, что „единственнымъ“ (?) преимуществомъ трубъ Мефана Фергюсона была бы ихъ нѣсколько меньшая стоймость по сравненію съ клепаными. Редакторъ весьма серьезнаго и почтеннаго Американскаго журнала „Engineering News“ пошелъ еще далѣе, и находилъ, что было бы *абсурдомъ* (wood be absurd) и идіотствомъ (*foolish*) — рѣшиться на устройство такихъ трубъ, какъ трубы Мефана Фергюсона *.

Но, къ счастію для развитія техники, колонія оказалась въ этомъ отношеніи умнѣе и практичнѣе метрополіи. Австралія рѣшила — **отдать подрядъ на изготовленіе трубъ Мефану Фергюсону**. Пятьсотъ верстъ его трубъ было сдѣлано, положено— и водопроводъ Кульгарди съ тѣхъ поръ работаетъ прекрасно, а трубы Мефана Фергюсона, благодаря ему, сдѣлались извѣстными во всемъ свѣтѣ и теперь пропагандируются многими заводами и примѣняются въ Америкѣ и Англіи, не говоря уже объ Австраліи.

Сущность устройства всего водопровода Кульгарди состоитъ въ слѣдующемъ. Вода берется въ горной мѣстности, на горахъ Green Mount, гдѣ высота выпадающаго дождя довольно значительна. Здѣсь, у рѣки Елены (Helena River) устроенъ огромный сборный резервуаръ или водохранилище, который вмѣщаетъ въ себѣ 25 милліоновъ кубическихъ метровъ (4600000000 галлоновъ) воды! Высота уровня его надъ уровнемъ моря— 320 футъ и отсюда надобно перегнать воду въ розсыпи Кульгарди, на разстояніе въ 490 верстъ, и поднять ее на высоту около 1313 футъ, такъ какъ пріемный резервуаръ Кульгарди расположенъ на высотѣ около 1633 футъ надъ уровнемъ моря. Сопротивленіе отъ тренія, или напоръ, потерянный на треніе, составляетъ, при принятой скорости воды въ трубопроводѣ въ 0,66 mt въ секунду (2 фута) и принятомъ, вездѣ одинаковомъ діаметрѣ трубъ въ 30 дюймовъ, тоже около 1300 футъ, такъ что фиктивная высота подъема воды составляетъ около 2600 футъ. Было бы практически невозможно преодолѣть это сопротивленіе однимъ единственнымъ насосомъ, и поэтому вся длина линіи, а стало быть и высота подъема, раздѣлена на восемь участковъ, длина которыхъ выбрана такъ, что сопротивленіе въ первыхъ четырехъ участкахъ приблизительно одинаково, и въ слѣдующихъ четырехъ — также. Поставлено восемь насосныхъ станцій и вода подымается, такъ сказать, этажами, изливаясь на каждой слѣдующей станціи въ открытый резервуаръ, и поступая изъ него во всасывающія трубы слѣдующихъ насосовъ. Планъ этотъ оказался весьма удачнымъ. Полная стоймость всего устройства — около 22 милліоновъ рублей, а стоймость однѣхъ только трубъ — около 10 милліоновъ рублей **.

Заказъ на трубы былъ отданъ пополамъ: мастерской Мефана Фергюсона („заводъ“— было бы слишкомъ громкое названіе) въ Falkirk, возлѣ Перта, въ Западной Австраліи, и Hoskins, Новый Южный Валлисъ.

Толщина стѣнокъ трубъ вездѣ принята постоянная, въ $^1/_4$ дюйма, и лишь въ

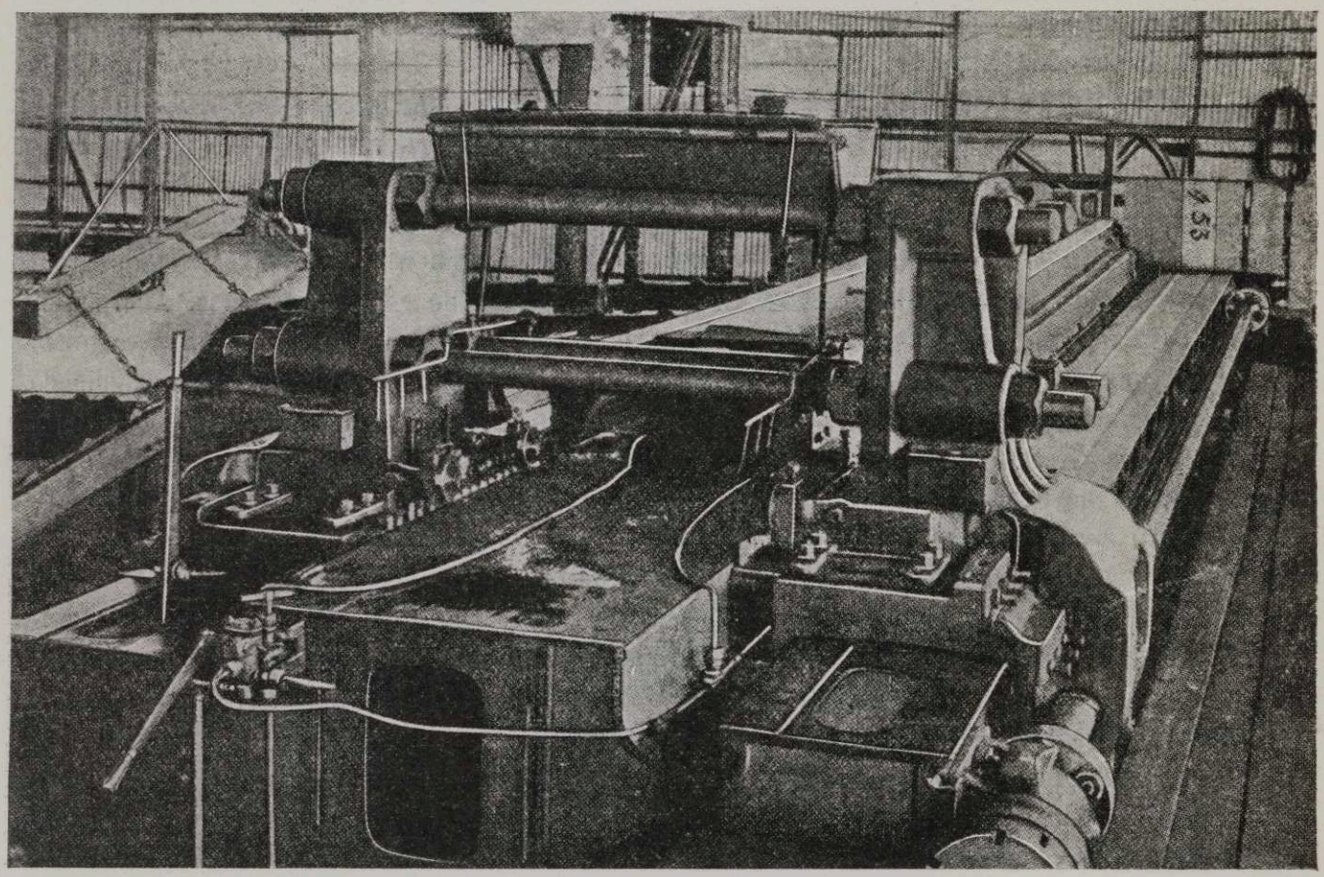
---

* Забавнѣе всего то, что ни почтенная Комиссія, ни редакторъ не знали того, что въ Австраліи уже лежитъ 15 верстъ такихъ трубъ (съ діаметрами отъ 15 до 26 дюймовъ) по системѣ Мефана Фергюсона, именно на водопроводѣ Adelaide, такъ что трубы и „испробованы въ широкихъ размѣрахъ“ и „строятся коммерчески“, а въ возможности того и другого сомнѣвалась Комиссія.

** Необходимо указать еще на слѣдующее обстоятельство. Первоначально предполагалось положить трубы на поверхности земли, для чего и проэктировались черезъ каждые 120 футъ расширители, какъ это сказано въ *Атласѣ*, на табл. 81. Но затѣмъ трубы были положены въ землю и никакихъ расширителей не понадобилось. Въ *Атласѣ*, на табл. 81, ошибочно указаны предположенія первоначальнаго проэкта, т. е. надземная укладка трубъ и расширители.

нѣкоторыхъ мѣстахъ поставлены трубы съ толщиною стѣнки въ $^5/_{16}$ дюйма. Длина каждой трубы—28 футъ. Матеріалъ трубъ—Сименсъ-Мартеновская кислая сталь.

Всякое изобрѣтеніе только тогда можетъ быть удачнымъ, когда изобрѣтатель не только задумалъ его въ умѣ, и оно существуетъ лишь въ видѣ остроумной идеи, но также и сконструировалъ машины, при помощи которыхъ оно съ удобствомъ, *быстро* и *дешево*, можетъ быть выполняемо. Мефанъ Фергюсонъ придумалъ для своихъ, въ высшей степени остроумныхъ трубъ, также и весьма хорошо задуманныя и сконструированныя машины-орудія, которыя позволяютъ выполнять трубы быстро и дешево. Именно существованію этихъ машинъ и обязано своимъ успѣхомъ такое быстрое и

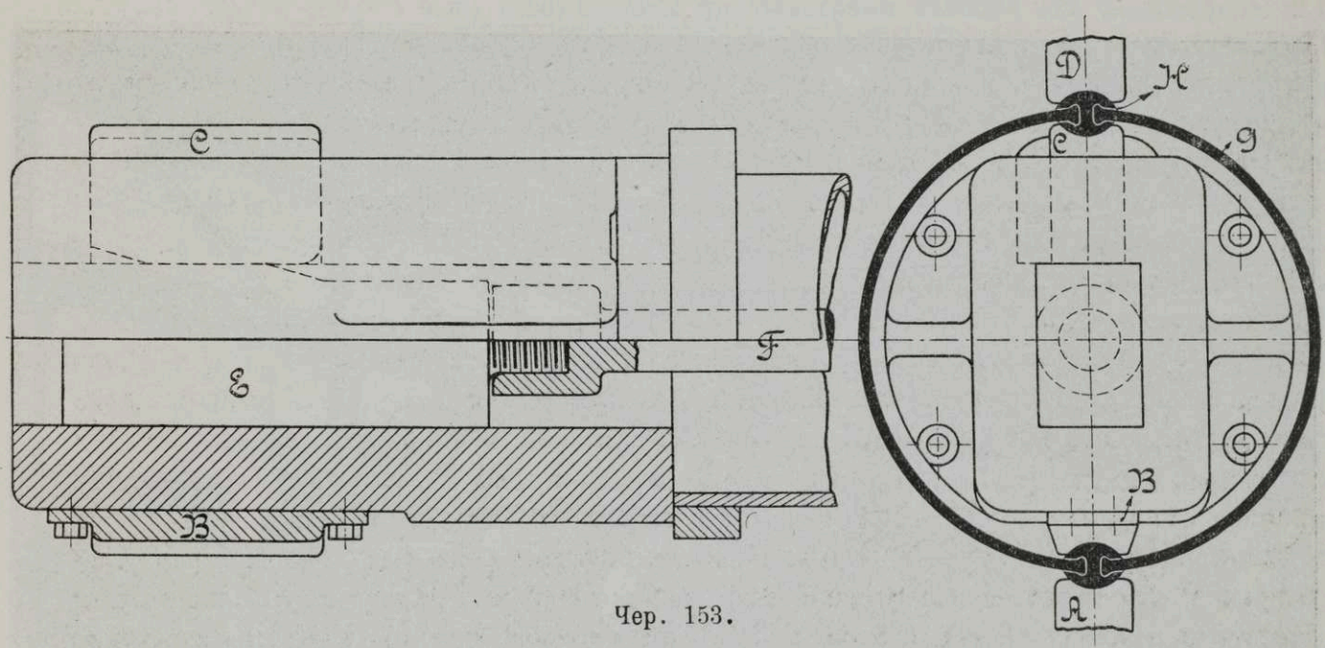


Чер. 152.

удачное выполненіе заказа трубъ для водопровода Кульгарди, какое имѣло мѣсто въ дѣйствительности. Инженеръ Stafford Ransome, корреспондентъ журнала „The Engineer“, посѣтившій въ 1901 году мастерскія Мефана Фергюсона, описываетъ въ названномъ журналѣ двѣ главныя машины, служащія для изготовленія трубъ, именно: машину для остраганія кромокъ листовъ и высаживанія на нихъ утолщеній, и машину для сдавливанія зажимныхъ брусковъ, т. е. машину для самого изготовленія трубъ. Ввиду интереса, представляемаго трубами Мефана Фергюсона, мы приведемъ здѣсь описаніе машинъ, хотя оно изложено въ журналѣ и не особенно ясно.

Машина для остраганія кромокъ листовъ и выдѣлыванія на нихъ потребныхъ утолщеній, показана на чер. 152. Рисунокъ въ журналѣ очень неясенъ, но приходится довольствоваться имъ. Машина имѣетъ солидную раму или основаніе, на которой закрѣпляется листъ, подлежащій обработкѣ. Вдоль этой рамы ходитъ во всю ея длину солидный ползунъ или суппортъ, приводимый въ движеніе винтомъ. Ввиду большой длины этого главнаго ведущаго винта и тяжелой его работы устроена поддержка, которая движется съ половинной скоростію и служитъ, такимъ образомъ, опорою для главнаго ведущаго винта, располагаясь всегда на срединѣ его длины между главнымъ суппортомъ и тѣмъ концомъ винта, гдѣ онъ получаетъ движеніе отъ привода. Какъ

главныхъ ведущихъ винтовъ, такъ и вспомогательныхъ—два, съ каждой стороны рамы. Машина имѣетъ своей цѣлью—придать листамъ точно потребную ширину и, вмѣстѣ съ тѣмъ, образовать на краяхъ листовъ утолщенія. Для остраживанія кромокъ листовъ точно, до потребной ширины, имѣются рѣзцы, вставленные въ маленькія поддержки, соединенныя съ главнымъ суппортомъ; для полученія утолщеній на кромкахъ листовъ служатъ обкатные ролики, помѣщенные прямо на главномъ суппортѣ. Рѣзцы идутъ впереди роликовъ и расположены въ нѣсколько рядовъ, такъ что на передніе рѣзцы и передніе ролики приходится болѣе тяжелая, грубая работа, а задніе рѣзцы и ролики производятъ окончательную отдѣлку. Листъ обрабатывается съ одного прохода. Для полученія точной формы утолщенія имѣются и горизонтальные и вертикальные ролики. Такъ какъ работа машины очень тяжелая, то закрѣпленіе листовъ на рамѣ производится при помощи гидравлическихъ цилиндровъ.



Чер. 153.

Для установки и обработки на этой машинѣ листа для трубъ водопровода Кульгарди (длиною въ 28 футъ) требуется всего пять минутъ.

Выйдя изъ этой машины листы проходятъ черезъ гидравлическій прессъ, который слегка отгибаетъ края, затѣмъ черезъ валки, въ которыхъ листъ загибается въ полуцилиндръ, и потомъ два такихъ полуцилиндра вставляются въ два бруска и бруски зажимаются въ особой гидравлической машинѣ.

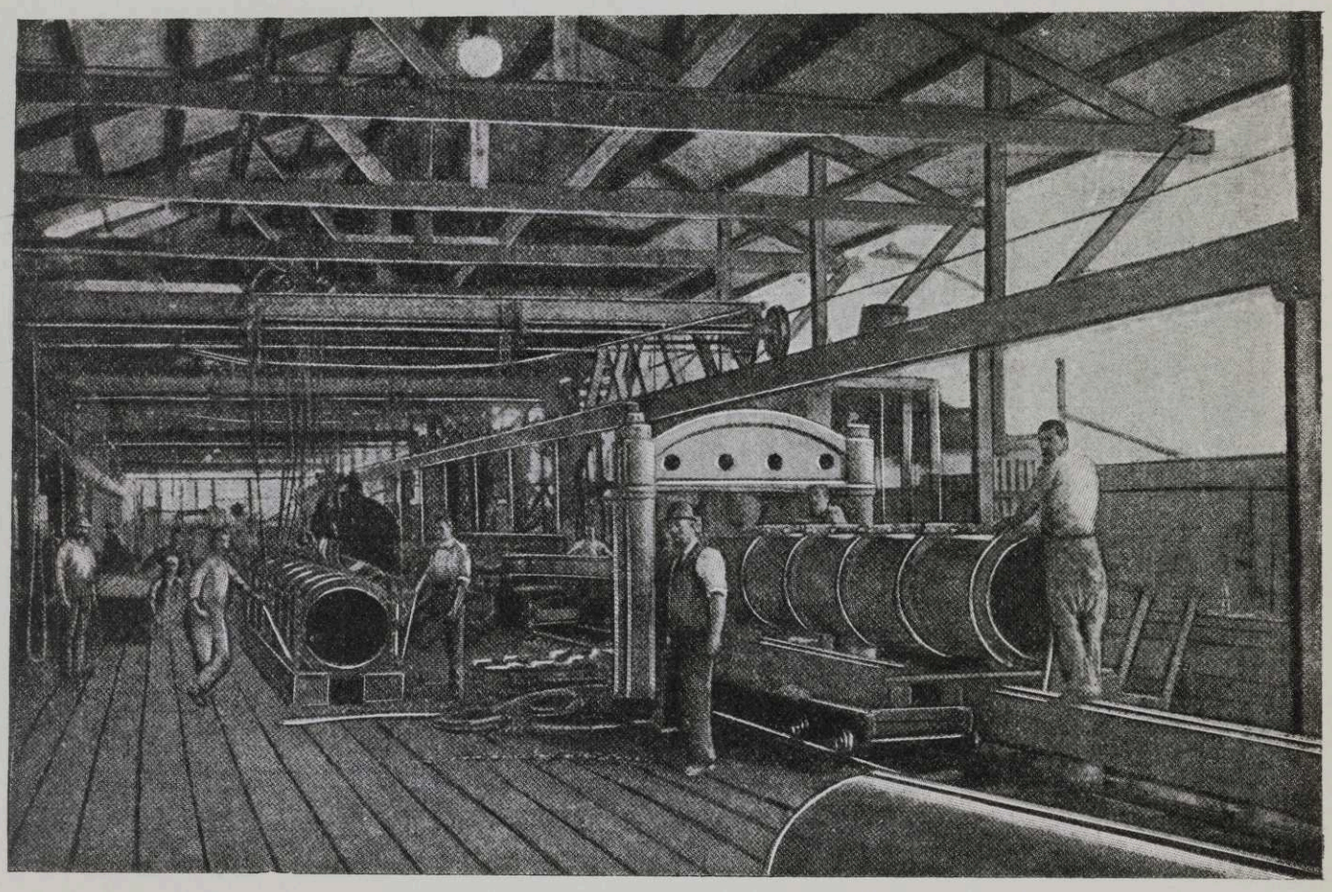
Машина для осаживанія зажимныхъ брусковъ является идеаломъ простоты. Такъ какъ труба всегда состоитъ изъ двухъ листовъ и оба подлежащіе зажиму бруска всегда расположены на двухъ концахъ одного и того же діаметра, то соотвѣтственно этому устроена и гидравлическая машина для ихъ зажиманія. Существенная часть ея показана на чер. 153.

Имѣются двѣ наковальни или упорки, *B* и *D*, изъ которыхъ *D* упирается въ верхнюю перекладину рамы, напоминающей раму гидравлическаго пресса (рама не показана) и остается неподвижною во время процесса работы, а *B* укрѣплена въ особой солидной рамѣ, вносимой внутрь изготовляемой трубы на длинномъ трубчатомъ стержнѣ. Эта солидная рама вмѣстѣ съ *B* передвигается вдоль трубы по мѣрѣ хода работы, но во время зажиманія бруска тоже временно остается неподвижной. Оба бруска, верхній и нижній, зажимаются одновременно при помощи двухъ подвижныхъ наковаленъ или ползуновъ, *A* и *C*. Изъ нихъ нижній *A* приводится въ движеніе прямо поршнемъ гидравлическаго цилиндра, помѣщеннаго въ нижней части машины, а *C* ходитъ въ той же рамѣ, съ которой соединено *B*, и тоже приводится въ дѣйствіе давленіемъ воды на поршень гидравлическаго цилиндра, но не непосредственно, а при помощи длиннаго

штока F, такъ какъ надо достать имъ во всякую точку внутренности трубы. На концѣ штока помѣщается клинъ E, который и дѣйствуетъ своимъ скосомъ на таковой же скосъ у ползуна C. Такимъ образомъ, при дѣйствіи клина E всѣ семь тѣлъ (упорка D, верхній зажимной брусокъ, ползунъ C, ползунъ-клинъ E, нижній упоръ B, нижній зажимной брусокъ и нижній ползунъ A) лежатъ на одной прямой линіи и работаютъ всѣ просто на сжатіе. Когда часть длины зажимного бруска, соотвѣтствующая рабочей длинѣ ползуна-клина C, зажата, трубу продвигаютъ далѣе и повторяютъ ту же самую операцію. Зажимающая сила составляетъ около 250 тоннъ.

Длина зажимнаго бруска, которая зажимается за одинъ разъ, составляетъ около 4 — 5 дюймовъ.

Общій видъ мастерской Мефана Фергюсона съ машинами для зажиманія брусковъ представленъ на чер. 154.



Чер. 154.

Послѣ изготовленія трубы пробуются гидравлическимъ давленіемъ въ 400 фунтовъ на □ дюймъ *.

Не асфальтированныя трубы не показываютъ никакихъ слѣдовъ течи даже при давленіи въ 400 фунтовъ на □ дюймъ. Лишь очень малый процентъ трубъ даетъ при пробѣ течь и въ этомъ случаѣ расчеканку производить *строго запрещено*, а труба возвращается еще разъ въ осадной прессъ и бруски второй разъ обжимаются.

Для защиты отъ ржавленія трубы асфальтируются; послѣ нѣсколькихъ лѣтъ работы никакихъ признаковъ ржавленія онѣ не показываютъ.

Заводъ Мефана Фергюсона готовилъ въ шестнадцати-часовой рабочій день (двѣ смѣны) около *ста* трубъ, хотя, въ видѣ рекорда, и было сдѣлано 54 трубы въ четыре часа, что̀ соотвѣтствуетъ 216 трубамъ въ день.

---

* для водопровода Кульгарди, гдѣ очень большое рабочее давленіе; въ другихъ случаяхъ довольствуются и 250 фунтами.

Слѣдуетъ еще упомянуть, что самые зажимные бруски, готовятся, конечно, путемъ прокатки. При изготовленіи трубы брусокъ берется немного длиннѣе листа, да его еще и вытягиваетъ при обжимкѣ; выступающая часть потомъ обрѣзывается вмѣстѣ съ трубой, такъ что получаются гладкіе торцы, перпендикулярные къ оси трубы.

Въ послѣднее время въ устройствѣ машинъ для изготовленія трубъ Фергюсона сдѣланы различныя усовершенствованія фирмой Hoskins, которая выполнила 32-дюймовыя трубы для водопровода въ Сиднеѣ.

Какъ уже сказано ранѣе, трубы Мефана Фергюсона широко распространены въ своемъ отечествѣ, Австраліи, гдѣ изготовляются нѣсколькими заводами. Въ Америкѣ такія трубы готовитъ, напр., заводъ The East Jersey Works, Paterson, N. J., а въ Англіи—заводъ Stewart and Lloyds, Limited, Glasgow.

Трубы могутъ быть изготовляемы съ діаметрами начиная отъ 20 дюймовъ и до 6 футъ.

Соединенія этихъ трубъ обыкновенно производятся при помощи двойной муфты, заваренной изъ стального листа, какъ показано на фиг. 22 и 23 табл. 81. Соединеніе заливается обычнымъ образомъ свинцомъ. Для того, чтобы дать мѣсто выступающему бруску, приходится въ двойной муфтѣ дѣлать соотвѣтствующіе выгибы, что̀ усложняетъ изготовленіе трубъ. Въ послѣднее время удалось обойти это неудобство; оказалось возможнымъ с о с т р а г и в а т ь, и довольно сильно, наружную часть зажимного бруска у конца трубы, на той длинѣ ея, которая войдетъ въ муфту. Муфту же дѣлаютъ просто цилиндрической, и такимъ образомъ, въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится состроганный отчасти брусокъ, мы получимъ меньшую толщину свинцовой заливки, и болѣе ничего. А благодаря этому состраганію не только упрощается изготовленіе муфтъ, но значительно облегчается и операція заливки свинцомъ, такъ какъ ранѣе выступающая часть брусковъ часто мѣшала свинцу течь внизъ въ томъ случаѣ, если бруски при укладкѣ трубъ располагали въ горизонтальной плоскости. Можно, конечно, и склепывать, поперечнымъ швомъ съ накладкой.

Кромѣ указанныхъ ранѣе достоинствъ этихъ трубъ, именно, бо́льшей герметичности, отсутствія ослабленія листовъ дырами (что̀ позволяетъ имѣть меньшую толщину стѣнокъ), быстроты изготовленія и дешевизны, слѣдуетъ указать еще на одно весьма важное достоинство ихъ по сравненію съ клепаными трубами. Именно, зажатые солидными брусками безо всякой расчеканки листы являются *очень солидною трубою* по сравненію съ трубою клепаною, которая есть вещь гораздо болѣе деликатная. Поэтому, трубы Мефана Фергюсона не боятся грубаго съ собою обращенія и безъ разстройства переносятъ перевозку въ тяжелыхъ условіяхъ, грубое сбрасываніе съ телѣгъ и пр.

Кромѣ того, трубы не имѣютъ внутри никакихъ выступающихъ частей, заклепочныхъ головокъ. Поэтому, теченіе жидкости черезъ нихъ происходитъ съ меньшимъ сопротивленіемъ, что̀ важно при длинныхъ линіяхъ; меньше задерживается осадковъ и прочистка трубъ легче. Трубы соединяются въ стыкъ, такъ что внутри трубы нѣтъ выступающихъ торцевъ листовъ, которые тоже представляютъ значительное сопротивленіе.

Наконецъ, если трубу приходится положить на далеко разставленныя опоры, то она менѣе страдаетъ отъ изгиба, нежели клепаная.

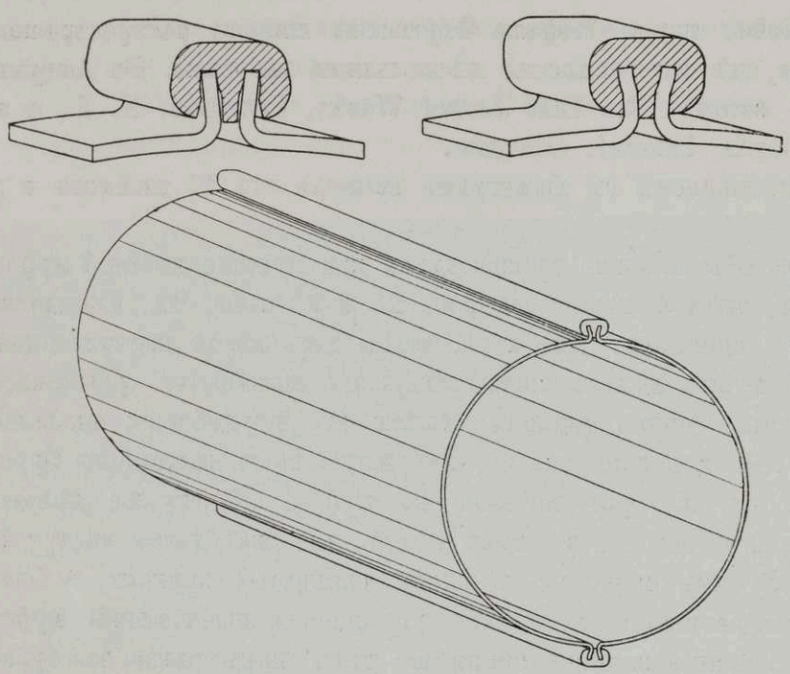
Примѣромъ истинно-Американской быстроты работы можетъ служить изготовленіе и укладка линіи 30-дюймовыхъ трубъ Мефана Фергюсона въ Питтсбургѣ, въ 1905 году. Длина линіи—2400 футъ.

Нивеллировка и съемка были произведены 31 Іюля; 5 Августа подрядчику были доставлены профили линіи; листы съ завода Карнеджи (толщина—$^1/_4$ дюйма), гдѣ ихъ пришлось катать по этому заказу (не со склада), посылались съ 9 по 13 Августа включительно и прибывали на трубный заводъ, въ Патерсонъ, съ 11 по 15 Августа включительно; изготовленіе трубъ начато было 12, а посылка трубъ на мѣсто началась съ 15 Августа; первыя три трубы прибыли въ Питтсбургъ 19 и трубы продолжали прихо-

дить до 22 Августа включительно. Вся линія, включая и 30-дюймовый водомѣръ Вентури (тоже вновь сдѣланный), со всѣми задвижками, кранами и пр., была уложена, опробована и пущена въ работу въ ночь подъ 1 Сентября. Итого — мѣсяцъ!! Комментаріи излишни.

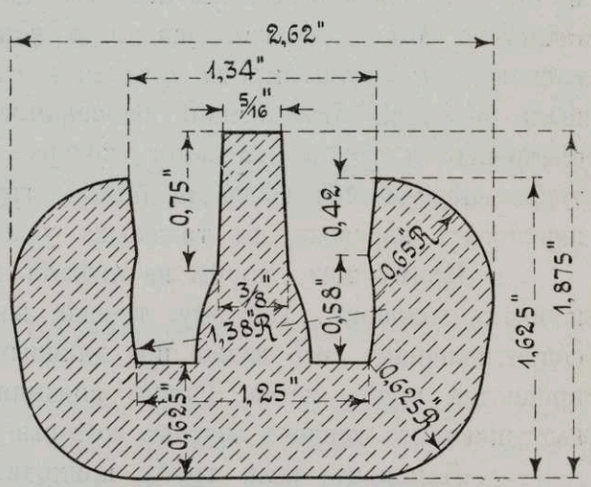
Есть, конечно, и у трубъ Фергюсона свои недостатки. Послѣ десяти лѣтъ работы обнаружились слѣдующія слабыя стороны этихъ трубъ.

Въ томъ случаѣ, если толщина листа будетъ не вездѣ одинакова или если матеріалъ зажимного бруска окажется на всей длинѣ не совсѣмъ одинаковой твердости, наблюдается искривленіе бруска. Кромѣ того, необходимо употреблять для брусковъ всегда сталь подходящаго качества; слишкомъ хрупкая сталь будетъ ломаться, такъ какъ гнуть бруски приходится довольно сильно *.



Чер. 155.

Американскій инженеръ Max Kronauer измѣнилъ конструкцію трубъ Мефана Фергюсона такъ, какъ показано на чер. 155. Онъ помѣщаетъ бруски с н а р у ж и трубы, чтò, конечно, упрощаетъ изготовленіе трубъ, и придаетъ вырѣзамъ или канавкамъ болѣе сложный профиль, какъ то видно на чертежѣ 156, гдѣ показанъ профиль бруска для 30-дюймовой трубы. Особыхъ преимуществъ этого профиля изъ описанія, сдѣланнаго изобрѣтателемъ, я не усмотрѣлъ (Engineering News, 1907 г., June 13).



Чер. 156.

Податливость или гибкость трубы, которую авторъ считаетъ достоинствомъ, едва ли можно считать таковымъ, такъ какъ отогнутыя части листовъ работаютъ *на изгибъ*, а въ трубахъ Мефана Фергюсона нагрузка передается на листы совершенно ц е н т р а л ь н о, вызывая въ нихъ только напряженія растяженія.

Практическіе результаты этой новой системы (описана въ 1907 году) пока въ литературѣ неизвѣстны.

Журнальная литература по трубамъ Мефана Фергюсона почти цѣликомъ использована мною въ настоящемъ параграфѣ. Я не входилъ лишь подробно въ исторію водопровода Кульгарди и его первоначальныхъ проэктовъ и въ детали устройства трубъ. Подробности эти можно найти въ слѣдующихъ статьяхъ:

---

* я считаю недостатки эти, выставляемые Кронауэромъ, в е с ь м а м а л о с у щ е с т в е н н ы м и, и совершенно не раздѣляю его мнѣнія о значительныхъ преимуществахъ его собственной системы, такъ какъ этихъ то именно недостатковъ и она тоже не устраняетъ.

„*Engineering News*“:

1898 годъ. 10 Февраля, 17 Февраля, 13 Октября и 29 Декабря — исторія водопровода Кульгарди, мнѣніе Комиссіи, контрактъ на поставку трубъ Мефана Фергюсона.

1899 годъ, Іюнь 29. — Подробности относительно водопровода Bundaleer, нѣкоторыя детали котораго имѣются въ *Атласѣ* на табл. 81.

1905 годъ, Августъ 3. — Нѣкоторыя подробности относительно устройства и укладки трубъ водопровода г. Сидней. Любопытный примѣръ того, какъ маленькая течь между свинцомъ муфты и зажимнымъ брускомъ проѣла и трубу и муфту насквозь, чему способствовалъ песчаный грунтъ, окружавшій трубу.

„*The Practical Engineer*“:

1904 годъ, 28 Октября. — Нѣкоторыя свѣденія относительно насосныхъ машинъ водопровода Кульгарди: ихъ производительность и фотографическіе виды.

ГЛАВА IX.

Желѣзныя и стальныя трубы.

Сварныя и цѣльнотянутыя трубы.

I). Сварныя трубы.

§ 76. Сварныя трубы составляются, подобно клепанымъ, изъ частей, которыя первоначально имѣли форму листовъ, затѣмъ были согнуты и сходящіяся кромки листовъ по продольному направленію были не склепаны, а сварены. Такая сварная труба можетъ быть по окружности составлена и изъ одного и изъ нѣсколькихъ листовъ. Такъ какъ сварныя трубы обыкновенно имѣютъ довольно умѣренный діаметръ, то ихъ составляютъ по окружности изъ одного листа, такъ что каждая труба имѣетъ только одинъ заварной продольный шовъ.

По характеру сварки сварныя трубы рѣзко раздѣляются на два класса, именно:

1. — Трубы, сваренныя *въ стыкъ*.
2. — Трубы, сваренныя *въ напускъ*.

Сварка въ *стыкъ* состоитъ въ томъ, что листъ сгибается въ совершенно правильный цилиндръ, такъ что кромки двухъ сторонъ листа стыкаются одна съ другой и въ мѣстѣ ихъ соприкосновенія и производится сварка. Такимъ образомъ, здѣсь площадь свареннаго мѣста равна толщинѣ листа, умноженной на длину трубы, и мѣсто сварки работаетъ на *разрывъ*, такъ какъ оно является однимъ изъ діаметральныхъ сѣченій полученнаго цилиндра или трубы. Такое обстоятельство является крайне невыгоднымъ для прочности трубы, и потому въ практикѣ особаго довѣрія къ трубамъ, свареннымъ въ стыкъ, не питаютъ. Такія трубы извѣстны подъ именемъ *газовыхъ* трубъ, по той простой причинѣ, что ихъ чаще всего употребляютъ для проводки свѣтильнаго газа, давленіе котораго всегда незначительно.

Сварка въ напускъ является гораздо болѣе надежною. Здѣсь листы подготовляются къ сваркѣ почти совершенно подобно тому, какъ и при клепкѣ; одинъ листъ находитъ на другой и затѣмъ все мѣсто напуска сваривается. Такимъ образомъ, въ противоположность сваркѣ въ стыкъ, гдѣ площадь сварки тождественно равна площади діаметральнаго сѣченія цилиндра, здѣсь площадь сварки можно имѣть значительно болѣе, и она работаетъ не прямо на разрывъ, а скорѣе на срѣзываніе, на сползаніе одного листа съ другого, подобно тому, какъ работаютъ и склепанные листы. Такія трубы, сваренныя въ напускъ, *гораздо надежнѣе* сваренныхъ въ стыкъ, и упо-

требляются во всѣхъ серьезныхъ случаяхъ практики, при большихъ діаметрахъ и большомъ давленіи въ трубахъ, даже и для паропроводовъ и паровыхъ котловъ.

Входить здѣсь въ подробности относительно изготовленія трубъ, какъ сварныхъ такъ и цѣльнотянутыхъ, нѣтъ возможности. Это вопросъ весьма сложный и относится скорѣе къ области технологіи металловъ. Поэтому я и ограничусь, и здѣсь и въ дальнѣйшемъ, лишь самыми необходимыми общими соображеніями. Подробности относительно изготовленія трубъ можно найти въ курсахъ технологіи и въ спеціальныхъ сочиненіяхъ, изъ которыхъ укажу сейчасъ же на слѣдующія:

1). *А. П. Гавриленко.* **Механическая технологія металловъ,** часть III. Обработка металловъ давленіемъ. Изданіе 2-е, 1903 г. — Въ этомъ сочиненіи весьма обстоятельно изложены всѣ подробности относительно изготовленія сварныхъ и цѣльнотянутыхъ трубъ.

2). *Diegel.* **Röhrenfabrication.** Die verschiedenen Methoden zur Herstellung von Röhren aus Eisen, Kupfer und Kupferlegirungen, und der Einfluss einiger Methoden auf die Festigkeitseigenschaften des Materials. Berlin. 1901 г.

3). *Того же автора.* **Das Schweissen und Hartlöten** mit besonderen Berücksichtigung der Blechschweissung. Berlin. 1909 г.

Въ первомъ сочиненіи чрезвычайно подробно изложены всѣ способы изготовленія сварныхъ и цѣльнотянутыхъ трубъ (желѣзныхъ, стальныхъ и мѣдныхъ), испытанія ихъ, *свойства* матеріаловъ и пр. Во второмъ сочиненіи спеціально говорится о сваркѣ вообще и разсматриваются подробно всѣ вопросы, связанные со сваркой и спайкой, и новѣйшіе пріемы сварки. Обѣ книги весьма цѣнны для лица, которому придется близко имѣть дѣло со сваркой и съ изготовленіемъ трубъ, съ пріемкой ихъ и пр.

4). *Edward C. R. Marks.* The Manufacture of Iron and Steel Tubes. 1903 г.

Эта небольшая книжка представляетъ, собственно, рядъ патентныхъ описаній, но собраніе различныхъ способовъ изготовленія трубъ въ ней весьма полно, и многое, имѣющееся здѣсь, въ другомъ мѣстѣ не найдешь. Но детальныхъ данныхъ въ книжкѣ нѣтъ.

Нѣкоторыя указанія на журнальную литературу даны далѣе.

Вообще слѣдуетъ сказать, что массовое изготовленіе трубъ представляетъ одинъ изъ наиболѣе энергично охраняемыхъ заводскихъ секретовъ въ машиностроеніи, и поэтому *вся рѣшительно литература объ этомъ вопросѣ отличается крайней бѣдностію*, сдержанностію, и даже, повидимому, иногда умышленными ошибками. Всѣ описанія крайне поверхностны и детальныхъ указаній — нигдѣ нѣтъ. Вслѣдствіе этого я и не вхожу здѣсь относительно изготовленія трубъ въ большія подробности, такъ какъ подробности эти прибавили бы весьма мало для того, кто сталъ бы искать детальныхъ, конструктивныхъ указаній. Ихъ нигдѣ нѣтъ.

1). Трубы, сваренныя въ стыкъ (газовыя).

§ 77. Какъ уже сказано, примѣненіе такихъ трубъ довольно ограничено. Онѣ употребляются, главнымъ образомъ, въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ давленіе незначительно, напр. для проводки свѣтильнаго газа, для проводки воды внутри зданій и пр. Сварка въ стыкъ примѣняется, главнымъ образомъ, для трубъ малаго діаметра; такъ, начиная съ діаметра въ $^1/_8$ дюйма и до діаметра не болѣе 1 дюйма трубы всегда дѣлаютъ сва-

ренными въ стыкъ. Съ другой стороны, сварку въ стыкъ обыкновенно не дѣлаютъ, если діаметръ трубы болѣе 3—4 дюймовъ, а переходятъ тогда къ сваркѣ въ напускъ. Сваренныя въ стыкъ трубы такого большого діаметра употребляются для газа, но никакъ не для пара. Наибольшимъ допустимымъ діаметромъ сваренной въ стыкъ желѣзной или стальной трубы, при которомъ она еще можетъ быть употреблена для пара, въ Англіи считается 2 дюйма, а иногда даже $1^1/_2$. Въ Германіи, для трубъ высокаго давленія, Нормами Нѣмецкихъ Инженеровъ газовыя трубы *совершенно запрещены* (см. табл. 87 *Атласа*).

Фабриканты газовыхъ трубъ увѣряютъ, что сварка въ стыкъ ничуть не слабѣе, нежели сварка въ напускъ, и доказываютъ это многочисленными опытами на непосредственный разрывъ трубы. Съ этимъ можно согласиться, и допустить, что на разрывъ давленіемъ жидкости газовая (сваренная въ стыкъ) труба можетъ работать не хуже сваренной въ напускъ. Но совсѣмъ иначе оказывается дѣло въ томъ случаѣ, когда труба подвергается, въ дѣйствительности, скручивающимъ и изгибающимъ вліяніямъ; въ этомъ случаѣ сварка въ стыкъ часто лопается. По этой же причинѣ сваренныя въ стыкъ трубы не могутъ быть изгибаемы въ колѣна съ такимъ малымъ радіусомъ кривизны, какой допустимъ при сваренныхъ въ напускъ трубахъ (см. далѣе).

Кромѣ слабости, другою причиною того, что трубы значительнаго діаметра предпочитаютъ сваривать не въ стыкъ, а въ напускъ, является стоймость изготовленія. Изготовленіе сваренныхъ въ стыкъ трубъ оказывается простымъ и дешевымъ только при небольшихъ діаметрахъ; начиная же съ діаметра въ 3 дюйма, изготовленіе трубы, сваренной въ стыкъ, начинаетъ обходиться уже *дороже*, нежели сварка въ напускъ, а такъ какъ эта послѣдняя и прочнѣе, то понятно, почему трубы свыше 3 дюймовъ въ діаметрѣ дѣлаютъ уже сваренными въ напускъ.

Матеріаломъ для изготовленія сварныхъ въ стыкъ трубъ служитъ или сварочное желѣзо или мягкая сталь.

Что̀ касается обычнаго теперь порядка изготовленія сваренныхъ въ стыкъ желѣзныхъ трубъ, то онъ таковъ.

Вырѣзываютъ изъ большихъ листовъ, или же спеціально прокатываютъ, полоски такого размѣра, который необходимъ для образованія трубы, заботясь о параллельности кромокъ и точности размѣровъ, сворачиваютъ на одномъ концѣ полоску въ конусъ, нагрѣваютъ полоску до-красна и протягиваютъ ее сквозь особую воронку для того, чтобы свернуть полоску въ цилиндръ. Воронка эта, въ общемъ, походитъ на описанную далѣе воронку для трубъ свариваемыхъ въ напускъ, только тамъ требуется получить напускъ краевъ, и потому воронка имѣетъ внутри спиральную форму, для сварки же въ стыкъ края полоски должны *соткнуться* одинъ съ другимъ, и потому здѣсь воронка обыкновенная. Послѣ свертыванія полученный цилиндръ нагрѣваютъ до сварочнаго жара и протягиваютъ или проволакиваютъ сквозь волочильную доску, отчего торцы листовъ и свариваются. Иногда трубу протягиваютъ два раза, для улучшенія сварки и полученія болѣе точнаго діаметра. Затѣмъ трубу правятъ на чугунной доскѣ деревянными молотками и обрѣзаютъ на пилѣ.

Всѣ новѣйшія подробности относительно изготовленія сваренныхъ въ стыкъ трубъ можно найти въ весьма полной и обширной статьѣ „Zur Fabrication gezogener Gasröhre, von Anton Bousse“, въ журналѣ Stahl und Eisen, 1907 года, Мартъ 13 и 20.

Слѣдуетъ еще упомянуть, что въ Англіи сварныя трубы небольшого діаметра (независимо отъ того, сварены ли онѣ въ стыкъ или въ напускъ) раздѣляютъ на четыре класса, сообразно ихъ назначенію, въ зависимости отъ чего мѣняется и толщина стѣнки ихъ. Именно, различаютъ трубы:

a). газовыя;
b). водяныя (водопроводныя);
c). паровыя;
d). гидравлическія (для прессовъ).

Размѣры этихъ трубъ даетъ слѣдующая табличка (взятая изъ каталога Англійской фирмы „John Spencer Limited, Globe Tube Works, Wednesbury“):

Діаметръ трубы (внутренній) въ дюймахъ	Газовыя		Водяныя		Паровыя		Прессовыя
	Толщина по калибру Standard wire gauge	Толщина въ дюймахъ	Толщина по калибру Standard wire gauge	Толщина въ дюймахъ	Толщина по калибру Standard wire gauge	Толщина въ дюймахъ	Толщина въ дюймахъ
1/4	14	0,080	13	0,092	12	0,104	0,25
3/8	13	0,092	12	0,104	11	0,116	0,25
1/2	12	0,104	11	0,116	10	0,128	0,25
3/4	11	0,116	10	0,128	9	0,144	0,25
1	10	0,128	9	0,144	8	0,160	0,25
1 1/4	9	0,144	8	0,160	7	0,176	0,25
1 1/2	8	0,160	7	0,176	6	0,192	0,25
1 3/4	8	0,160	7	0,176	6	0,192	0,25
2	8	0,160	7	0,176	6	0,192	0,25
2 1/2	7	0,176	6	0,192	5	0,212	—
3	7	0,176	6	0,192	5	0,212	—
3 1/2	7	0,176	6	0,192	5	0,212	—
4	7	0,176	6	0,192	5	0,212	—

Если провѣрить толщины стѣнокъ небольшихъ сварныхъ трубъ на разрывъ, то мы увидали бы, что всѣ стѣнки сдѣланы *гораздо толще*, чѣмъ необходимо для сопротивленія разрыву. Это дѣлается по двумъ причинамъ. Вопервыхъ, небольшія трубы соединяются преимущественно при помощи муфтъ на рѣзьбѣ, поэтому толщина стѣнки трубы должна быть настолько значительна, чтобы послѣ нарѣзанія рѣзьбы осталась бы еще нѣкоторая потребная для прочности толщина металла. Вовторыхъ, при очень малой толщинѣ стѣнки нельзя получить достаточно прочной сварки, особенно при сваркѣ въ стыкъ.

Хотя въ „*газовыхъ*“ трубахъ давленіе обыкновенно бываетъ и не велико, тѣмъ не менѣе большинство заводчиковъ пробуетъ газовыя трубы давленіемъ въ 20 атм. Для „*водяныхъ*“ же и „*паровыхъ*“ трубъ пробное давленіе въ 20 атм. считается обязательнымъ.

Сваренныя въ напускъ трубы подвергаются гораздо болѣе высокому пробному давленію, какъ сказано далѣе.

Слѣдуетъ указать, что въ Америкѣ готовятъ сваренныя въ стыкъ трубы и не такимъ путемъ, какъ описано здѣсь, т. е. посредствомъ проволакиванія, а совершенно такъ же какъ и сварныя въ напускъ, т. е. путемъ прокатки. Объ этомъ подробнѣе см. въ названной статьѣ Bousse.

2). Трубы, сваренныя въ напускъ.

§ 78. Эти трубы пользуются несравненно бо́льшимъ распространеніемъ, нежели сваренныя въ стыкъ. Трубы, сваренныя въ напускъ, могутъ быть изготовляемы съ довольно большими діаметрами [коммерчески изготовляемыя трубы могутъ имѣть діаметръ до 36 дюймовъ (около 900 mm); въ исключительныхъ случаяхъ готовили трубы

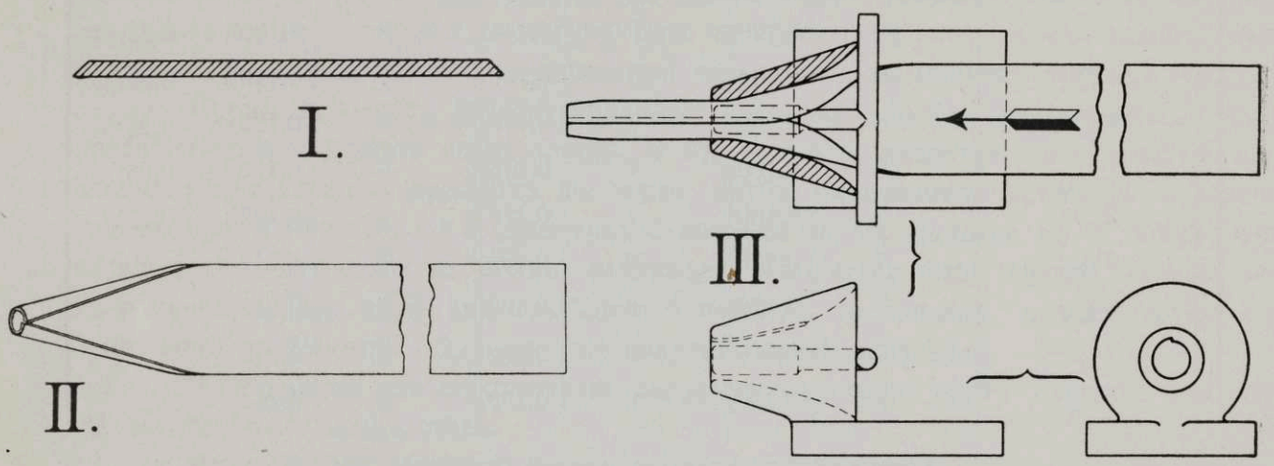
и съ діаметромъ до 10 футъ (около 3,3 mt)] и употребляются для самыхъ разнообразныхъ цѣлей: для водоснабженія, для подведенія воды къ турбинамъ высокаго давленія, для газовъ подъ большимъ давленіемъ, для паровыхъ котловъ, и, наконецъ, для пароводовъ, какъ для насыщеннаго такъ и для перегрѣтаго пара.

Сварныхъ въ напускъ трубъ съ діаметромъ менѣе одного дюйма — не дѣлаютъ.

Порядокъ изготовленія сваренныхъ въ напускъ трубъ зависитъ, главнымъ образомъ, отъ ихъ діаметра. Трубы *небольшого* діаметра завариваютъ *сразу по всей длинѣ*, у трубъ же значительнаго діаметра завариваютъ шовъ постепенно, обыкновенно на газовомъ горнѣ.

Сварка трубъ небольшого діаметра, производимая съ одного прохода, дѣлается, въ общихъ чертахъ, слѣдующимъ образомъ.

Полоса, изъ которой должна быть образована труба, или вырѣзается изъ большого листа, или прокатывается прямо съ потребною уже шириною и длиною. У прямой



Чер. 157.

полосы скашиваютъ на строгальной машинѣ продольныя кромки *, чер. 157, I, сворачиваютъ на одномъ концѣ въ конусъ, чер. 157, II, затѣмъ накаливаютъ въ печи до темнокраснаго каленія и протягиваютъ черезъ особую воронку, чер. 157, III, помѣщенную у самой дверцы печи; послѣ прохода черезъ воронку полоса принимаетъ цилиндрическую форму и края заходятъ уже одинъ на другой на величину потребнаго напуска; этотъ заходъ достигается благодаря тому, что воронка имѣетъ у узкаго конца особую спиральную форму, и края листовъ находятъ другъ на друга — остается ихъ только сварить **. Для этого цилиндры переносятъ въ сварочную печь, гдѣ они нагрѣваются, равномѣрно по всей своей длинѣ, до сварочнаго жара. Затѣмъ цилиндръ прямо изъ печи подаютъ въ особые вальцы, чер. 158, установленные у самой печи, при проходѣ черезъ которые края трубы подъ сильнымъ нажатіемъ свариваются.

Пробѣгая между вальцами, труба внутри себя имѣетъ неподвижно установленную оправку, чер. 158, которая поддерживаетъ ее изнутри и позволяетъ свариваемымъ краямъ быть прижатыми другъ къ другу.

Послѣ перваго прохода трубу вновь нагрѣваютъ, и пропускаютъ сквозь вальцы второй разъ, увеличивъ чуть діаметръ оправки и повернувъ трубу на 60°, чтобы сгладить возможныя неровности въ толщинѣ стѣнокъ. Для той же цѣли трубы кладутъ теперь въ печь задомъ напередъ.

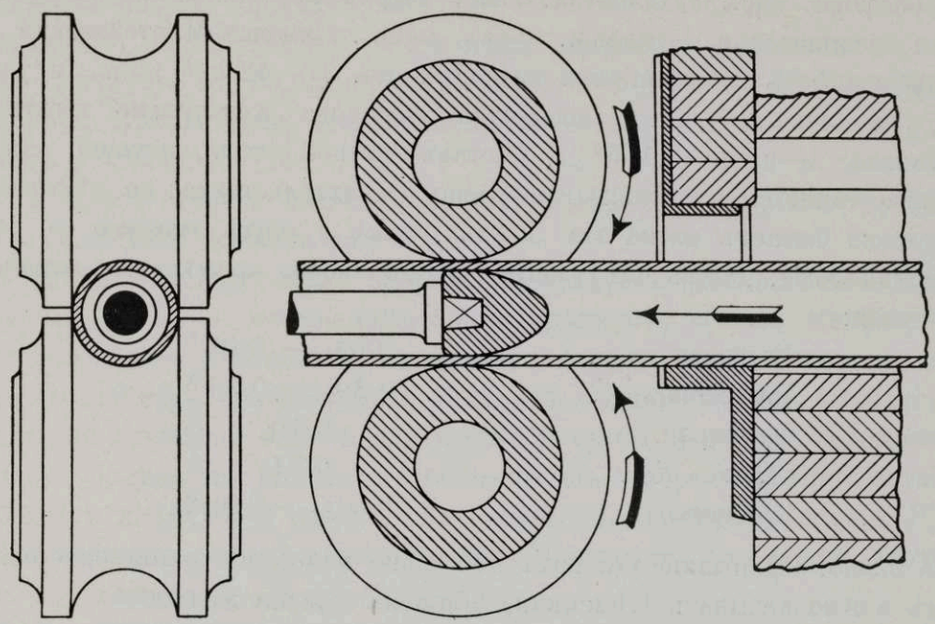
---

* Въ послѣднее время вмѣсто остраживанія кромокъ примѣняется вальцовка или обкатываніе ихъ въ раскаленномъ состояніи; такая операція, между прочимъ, уплотняетъ матеріалъ въ мѣстѣ сварки и тѣмъ улучшаетъ его качество.

** Такое сворачиваніе листа въ цилиндръ при помощи воронки возможно, если діаметръ трубы не болѣе 400 mm; при бо́льшемъ діаметрѣ приходится прибѣгать уже къ сгибанію между валками.

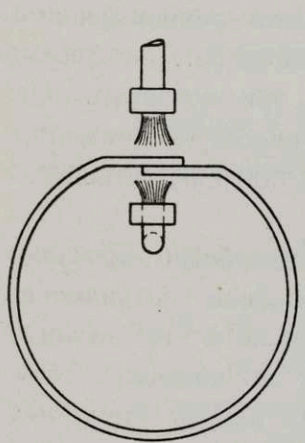
Иногда дѣлаютъ третій и даже четвертый пропускъ, если требуются особенно хорошія трубы.

Остывшія до краснаго каленія трубы протягиваютъ черезъ кольцо, чтобы ихъ точно калибрировать, но это дѣлаютъ лишь съ трубами небольшого діаметра; большія



Чер. 158.

же трубы правятъ между особыми вращающимися вальцами, поставленными косо, такъ что эта операція напоминаетъ Маннесмановскую прокатку.



Чер. 159.

Трубы большого діаметра сгибаютъ изъ листовъ въ холодномъ состояніи на обыкновенной загибной машинѣ, и затѣмъ постепенно завариваютъ шовъ подъ паровымъ молотомъ; нагрѣвъ чаще всего производятъ на газовомъ горнѣ; обыкновенно употребляютъ водяной газъ. Температура сварки—около 1600—1700° Цельзія, и даже до 1800 *.

Сущность процесса состоитъ въ томъ, что свернутый въ цилиндръ листъ, съ напущенными краями, нагрѣваютъ на нѣкоторой части длины (отъ 150 до 200 mm) между двумя газовыми горѣлками, чер. 159, и затѣмъ быстро подвигаютъ подъ быстроходный паровой молотокъ, который и производитъ сварку. Внутри трубы имѣется поддержка или наковальня. Затѣмъ процессъ повторяютъ.

Послѣ сварки трубы нагрѣваютъ въ печи до краснаго каленія и затѣмъ пропускаютъ между валками для того, чтобы придать имъ точно цилиндрическую форму, послѣ чего имъ медленно даютъ охладиться, производя, такимъ образомъ, отжигъ.

---

* Теоретически водяной газъ есть смѣсь равныхъ по объему частей окиси углерода (CO) и водорода (H); чистымъ получить его въ практикѣ трудно, и обыкновенный водяной газъ имѣетъ слѣдующій составъ, въ процентахъ *по объему*:

Углекислоты	3%
Окиси углерода	44%
Водорода	50%
Азота	3%
Итого . . .	100%

Если водяной газъ содержитъ болѣе 5—6% углекислоты, то онъ уже признается плохимъ.

Матеріалами для изготовленія сварныхъ въ напускъ трубъ служатъ и сварочное желѣзо и мягкая сталь, чаще послѣдняя.

Для всякихъ вообще сварныхъ *стальныхъ* трубъ, будетъ ли сварка въ стыкъ или въ напускъ, все равно, сталь не должна быть очень тверда и не должна содержать много фосфора, сѣры и углерода, иначе свариваніе становится затруднительнымъ и появляются трещины при остываніи. Такъ, напр., Сименсъ-Мартеновская сталь для сварныхъ трубъ имѣетъ коэффиціентъ крѣпости отъ 37—42 kg/□mm, и удлиненіе не меньше 20% на длинѣ 200 mm. Содержаніе углерода желательно имѣть не болѣе 0,145% и никакъ не выше 0,155%. Составъ мягкой стали, идущей для сварныхъ трубъ, конечно, мѣняется нѣсколько, сообразно обстоятельствамъ; но нѣкоторое понятіе о томъ, насколько бываетъ мягка эта „сталь“, какъ я вездѣ называю ее, слѣдуя Американской терминологіи, даютъ слѣдующія среднія цифры примѣрнаго химическаго состава такой стали:

Углерода	0,05 — 0,07 %
Марганца	0,30 — 0,36 %
Фосфора	0,10 %
Сѣры	0,05 %
Кремнія	0,01 — 0,02 %.

Какъ видно, содержаніе углерода настолько мало, что такой матеріалъ съ полнымъ правомъ можно называть Нѣмецкимъ именемъ „литое желѣзо“.

Что̀ касается сравнительныхъ достоинствъ сварочнаго желѣза и мягкой стали, какъ матеріаловъ для сварныхъ трубъ, то въ настоящее время предпочитаютъ сталь, въ силу тѣхъ преимуществъ, которыя вообще мягкая сталь (или литое желѣзо), получаемая сразу въ большихъ массахъ, обыкновенно въ Сименсъ-Мартеновской печи, представляетъ передъ пудлинговымъ желѣзомъ, и изъ которыхъ, при изготовленіи трубъ, весьма важнымъ является *равномѣрность* получаемаго матеріала; эта равномѣрность весьма важна при изготовленіи трубъ, гдѣ, при волоченіи, прокаткѣ и пр., матеріалъ подвергается весьма энергичнымъ перемѣщеніямъ и напряженіямъ, при которыхъ неравномѣрность строенія можетъ повести къ обрыву трубы во время процесса изготовленія.

Трубы не особенно значительнаго діаметра, такъ отъ 200 до 600 mm, готовятся съ длиною отъ 4, 5 до 6 метровъ.

Трубы значительнаго діаметра готовятся обыкновенно съ не особенно большою длиною, такъ около 2,5 метровъ; затѣмъ три или четыре такихъ барабана соединяются на заводѣ же помощію склепыванія поперечнымъ швомъ съ накладкой, и, въ такомъ видѣ, полученная труба, длиною около 7,5—8 метровъ, уже идетъ въ продажу какъ рыночный товаръ. Очень большія трубы, по спеціальному заказу, могутъ быть изготавливаемы и гораздо бо́льшей длины, до 25 и даже до 30 метровъ. Такъ, напр., фирма Julius Pintsch въ Берлинѣ приготовила сварной котелъ въ 3,4 mt діаметромъ и въ 25 mt длиною.

Иногда же у сварныхъ трубъ завариваютъ и поперечные швы и въ такихъ случаяхъ цѣльная труба достигаетъ длины до 145 метровъ.

Пробное давленіе для сварныхъ въ напускъ трубъ бываетъ различно, въ зависимости отъ ихъ размѣровъ и назначенія. Для ходовыхъ рыночныхъ трубъ не особенно большого діаметра пробное давленіе составляетъ обыкновенно около 35 атмосферъ.

Для того, чтобы *не повредить* трубу, пробное давленіе **никогда не должно быть больше половины разрывающаго трубу давленія.** Это необходимо имѣть въ виду при назначеніи пробнаго давленія и противъ этого въ практикѣ иногда погрѣшаютъ, и тогда такая проба не только не даетъ гарантіи въ безопасности трубы, но является прямо преступленіемъ, такъ какъ надрываетъ каждую пробуемую трубу *.

* Въ этомъ отношеніи грѣшатъ нерѣдко не только спецификаціи на поставку трубъ, но также и спецификаціи на поставку массы различныхъ другихъ техническихъ издѣлій. Примѣровъ этому весьма

Что̀ касается *прочности* сварныхъ трубъ, въ особенности сваренныхъ въ напускъ, то многолѣтними опытами и испытаніями теперь доказано, что при безукоризненной, превосходной работѣ прочность мѣста сварки *болѣе*, нежели прочность цѣлаго листа, такъ какъ такіе сваренные образцы никогда не рвутся въ мѣстѣ сварки. Для обычной же, *хорошей* работы, которую можно ожидать вообще въ продажныхъ трубахъ, изготовляемыхъ хорошими заводами, степень ослабленія въ мѣстѣ сварки не бываетъ болѣе 5%, а степень прочности мѣста сварки по сравненію съ цѣлымъ мѣстомъ можно принимать въ 95 процентовъ, и вести расчетъ по формулѣ Маріотта принявъ эту цифру. Практически это значитъ, что теперь сварная труба расчитывается такъ же, какъ и цѣльнотянутая.

Что̀ касается степени надежности, допускаемой въ сварныхъ трубахъ, то величина ея приблизительно бываетъ отъ 4 до 5.

Относительно допускаемаго напряженія слѣдуетъ еще замѣтить, что не смотря на то, что сталь является матеріаломъ болѣе крѣпкимъ, нежели желѣзо, обыкновенно допускаемое напряженіе для обоихъ матеріаловъ берутъ, въ особенности для трубъ не очень большого діаметра, одинаковымъ, такъ что толщина стѣнки выходитъ тоже одна и та же какъ для желѣзной такъ и для стальной трубы, а степень надежности стальной трубы выходитъ болѣе; это дѣлаютъ, однако, не изъ соображеній прочности, а съ точки зрѣнія удобства и надежности сварки. Для трубъ съ діаметромъ свыше 10 — 12 дюймовъ толщину стѣнки стальной трубы берутъ обыкновенно уже менѣе, допуская надежность такую же, какъ и въ желѣзной трубѣ.

Надобно указать еще и на то, что не смотря на вполнѣ доказанную уже надежность свариванія, какъ способа соединенія, замѣняющаго клепку, многія казенныя учрежденія (въ особенности Адмиралтейства, напр. Англійское и подражающее ему Русское) и до сихъ поръ не признаютъ сварки и для сварныхъ паровыхъ трубъ требуютъ, чтобы при діаметрѣ свыше 8 (или 9) дюймовъ по линіи сварки была бы еще наклепана накладка. Смыслъ такого требованія понять трудно и не даромъ инж. Stewart называетъ его иронически и деликатно „болѣе, чѣмъ безполезнымъ“.

Вопросъ о томъ, какой трубѣ отдать предпочтеніе въ практикѣ — сварной или цѣльнотянутой, будетъ вкратцѣ разсмотрѣнъ далѣе.

3). Описанія нѣкоторыхъ исполненныхъ сварныхъ трубъ.

§ 79. А). Первый разъ въ большихъ размѣрахъ сварныя трубы значительнаго діаметра были примѣнены на водопроводѣ въ Кимберлеѣ, въ Африкѣ, въ 1881 году, такъ какъ затруднительная перевозка (быками, на телѣгахъ, за 900 верстъ отъ берега) дѣлала невозможнымъ употребленіе чугунныхъ трубъ, да и трубы приходилось къ тому же везти изъ Англіи. Были положены сварныя стальныя трубы въ 14 дюймовъ діаметромъ (толщина стѣнки $^1/_4$ дюйма) и въ 18 дюймовъ (толщина стѣнки $^5/_{16}$ дюйма), изготовленныя извѣстной Англійской фирмой Thomas Piggott & Co., Limited, Atlas Works, Spring Hill, Birmingham, которая спеціализировалась на изготовленіи клепаныхъ и сварныхъ трубъ. Трубы Кимберлея обошлись, съ укладкой, *вдвое* дешевле чугунныхъ, и вѣсятъ въ *четыре раза* меньше. Длина линіи трубъ — около 30 верстъ.

На этомъ же водопроводѣ впервые было фирмою примѣнено и соединеніе такихъ трубъ двойною муфтою, пользующееся и сейчасъ большимъ распространеніемъ и извѣстное подъ именемъ *соединенія Кимберлей*. Оно показано въ *Атласѣ* на фиг. 7 табл. 81.

много; не мало извѣстно мнѣ лично и есть много указаній и въ литературѣ, но входить въ подробности здѣсь не мѣсто. Всякому, кто много принималъ или сдавалъ различныхъ техническихъ издѣлій, такіе случаи хорошо извѣстны.

B). Нѣсколько примѣровъ исполненныхъ сварныхъ стальныхъ трубъ большого діаметра для водопроводовъ приведены въ слѣдующей табличкѣ (вмѣсто длины линіи данъ полный вѣсъ затраченной на нее стали).

Городъ	Количество стали, въ тоннахъ	Діаметръ трубы, въ дюймахъ	Толщина стѣнки, въ дюймахъ
Bradford	1900	36	$^5/_8$—$^1/_2$
Belfast	2100	36	$^1/_2$
		48	$^3/_4$
Birmingham	6000	42	$^1/_2$—$^3/_4$
London (New River) .	650	42	$^1/_2$
Manchester	1000	40	$^1/_2$
		44	$^5/_8$

C). Трубопроводъ къ турбинамъ гидравлической силовой станціи въ Vauvry, въ Швейцаріи. Напоръ — 950 метровъ (самый большой напоръ въ свѣтѣ); вода подводится къ турбинамъ сперва тоннелемъ, а затѣмъ сварными стальными трубами. На длинѣ 635 метровъ идетъ труба съ діаметромъ въ 0,5 mt, которая затѣмъ развѣтвляется на двѣ трубы, каждая съ діаметромъ въ 0,34 mt, и длиною въ 1306 mt; толщина стѣнокъ первой трубы измѣняется отъ 7 до 11,5 mm, а каждой изъ двойныхъ трубъ — отъ 8 до 18 mm. Полный напоръ во всей этой линіи (первая труба и двойная) составляетъ 900 метровъ. Длина отдѣльныхъ трубъ линіи измѣняется отъ 5 до 10 метровъ. Трубопроводъ имѣетъ много переломовъ, для полученія которыхъ въ мѣстахъ перелома между двумя трубами вставлены косыя или клиновидныя кольца. Прокладками между флянцами (флянцы — свободные, цѣпляются за буртики на концахъ трубъ) служатъ азбестовыя кольца, обмотанныя мѣдной обмоткой, которая сама покрыта свинцомъ.

D). На табл. 63, фиг. 1 и 2 *Атласа* изображено шаровое соединеніе стальныхъ сварныхъ трубъ г. Портландъ, а на стр. 166 книги даны подробныя свѣдѣнія объ этомъ шаровомъ соединеніи. Здѣсь прибавимъ теперь нѣкоторыя подробности о самихъ трубахъ.

Трубы сдѣланы изъ листовой стали, толщиною не менѣе $^3/_8$ дюйма, сварены въ напускъ; длина каждой отдѣльной вѣтви — отъ 18 до 20 футъ. На каждыя двѣ длины полагается одно шаровое соединеніе. Матеріалъ трубъ — мягкая Мартеновская сталь; содержаніе фосфора—не болѣе 0,06%, содержаніе сѣры—не болѣе 0,06%, содержаніе марганца—не болѣе 0,6%. Пробныя полоски, имѣющія ширину въ $1^1/_2$ дюйма и длину въ 8 дюймовъ между кернами, должны имѣть сопротивленіе разрыву отъ 57000 до 65000 фунтовъ на □ дюймъ и предѣлъ упругости не ниже 32000 фунтовъ на □ дюймъ. Удлиненіе не меньше 22% (измѣренное на длинѣ 8 дюймовъ); уменьшеніе площади поперечнаго сѣченія въ моментъ разрыва — 40% (въ мѣстѣ разрыва). Полоски 1 дюймъ × 6 дюймовъ, вырѣзанныя какъ вдоль, такъ и поперекъ листовъ, должны въ холодномъ состояніи сгибаться сами на себя на 180° и расплющиваться безъ признаковъ трещинъ.

Спецификаціи для пробы и асфальтировка этихъ трубъ.

Каждая секція трубъ, послѣ своего изготовленія и передъ асфальтировкой, должна быть опробована гидростатическимъ давленіемъ въ 250 фунтовъ на квадратный

дюймъ и при такой пробѣ должна оказаться абсолютно свободной отъ течей и трещинъ.

Когда секція трубъ окончательно изготовлена вмѣстѣ съ флянцами на концахъ, то она должна быть самымъ тщательнымъ образомъ очищена внутри и снаружи, безъ употребленія кислотъ или другихъ жидкостей, и погружена въ ванну, изготовленную слѣдующимъ образомъ:

Желѣзные баки надлежащаго размѣра, помѣщенные надъ кирпичными печами, должны быть наполнены почти до верху лучшимъ очищеннымъ асфальтомъ, равнымъ по достоинству асфальту качества „C“ фирмы „Los Angeles Oil Burning & Supply Co.“, изломаннымъ на мелкіе куски; промежутки должны быть наполнены самымъ лучшимъ естественнымъ жидкимъ асфальтомъ („maltha“), извѣстнымъ подъ именемъ сорта „L“, не свыше 14 градусовъ по Боме. Смѣсь должна быть доведена до кипѣнія при постоянномъ помѣшиваніи, и все содержимое бака должно быть доведено до жидкаго состоянія.

Степень густоты ванны должна затѣмъ быть испробована при помощи куска $^3/_8''$ листа, имѣющаго площадь не менѣе 6 дюймовъ въ квадратѣ, который погружается въ кипящую жидкость и остается тамъ не менѣе 10 минутъ, послѣ чего вынимается и охлаждается въ ледяной водѣ.

Если затѣмъ, при постукиваніи пробы молоткомъ, слой асфальтировки отлетаетъ, то асфальтировка слишкомъ хрупка; наоборотъ, если при постукиваніи молоткомъ слой асфальтировки вовсе не слетаетъ, но размягчается при температурѣ около 38° Цельзія, то это значитъ, что асфальтировка черезчуръ мягка; въ томъ или другомъ случаѣ надобно прибавить къ ваннѣ или жидкаго асфальта (лучшаго качества) или твердаго асфальта, и добиться того, чтобы асфальтировка выдерживала бы пробу молоткомъ и не размягчалась бы при температурѣ около 38° Цельзія, а оставалась бы достаточно твердой.

Послѣ этого труба должна быть совершенно погружена въ ванну и оставлена въ ней по крайней мѣрѣ на двадцать минутъ, или вообще на такое время, чтобы она успѣла принять температуру ванны (не менѣе 138° Цельзія). Послѣ этого труба вынимается изъ ванны и слою асфальтировки на ней даютъ застывать въ теченіи по крайней мѣрѣ восьми минутъ, послѣ чего трубу еще разъ на короткое время опять погружаютъ въ ванну, чтобы утолстить слой асфальтировки.

Подрядчикъ долженъ доставить за свой счетъ всѣ приспособленія, нужныя для подъема, опусканія, и поворачиванія трубъ. Слой долженъ быть такой толщины, какую инженеръ Водопроводнаго Комитета признаетъ дѣйствительно необходимой для надежной защиты трубы.

Время отъ времени въ ванну должны быть подбавляемы свѣжіе матеріалы въ надлежащей пропорціи, для того чтобы все время поддерживать смѣсь при необходимой степени густоты, а время отъ времени баки должны быть совершенно опорожняемы и вновь наполняемы свѣжими матеріалами. Матеріалы, употребляемые для полученія смѣси, устройства для ея кипяченія и самый способъ кипяченія, плавленія, нанесенія и испытанія асфальтирующаго слоя должны быть подвергнуты во всѣхъ случаяхъ разсмотрѣнію пріемщика и получить его одобреніе.

Если по какой бы то ни было причинѣ на части длины трубы слой асфальтировки окажется испорченнымъ, то онъ долженъ быть возобновленъ; если же окажется, что асфальтировка слишкомъ хрупка, или облупилась чешуей, или не надлежащаго состава, или нанесена неправильно, то во всѣхъ такихъ случаяхъ слой асфальтировки долженъ быть тщательно соскобленъ прочь полностію и асфальтировка произведена вновь. Всѣ внѣшнія части удобоподвижныхъ соединеній должны быть тоже покрыты слоемъ окраски марки „P. & B. paint“, имѣющимъ такую же толщину, какъ и слой, покрывающій трубы.

4). Спирально-сваренныя трубы.

§ 80. Подобно тому, какъ имѣются трубы спирально-клепаныя, имѣются и трубы спирально-сваренныя. По сути дѣла онѣ совершенно подобны первымъ и изготовляются также изъ длинной полосы, которая свертывается спиралью и затѣмъ идущій по винтовой линіи шовъ не заклепывается, а заваривается. Достоинствомъ этихъ трубъ считается и здѣсь то обстоятельство, что ослабленное мѣсто, мѣсто сварки, расположено не по образующей, а по винтовой линіи, такъ что опасность разрыва трубы менѣе. Такія трубы изготовляются немногими спеціальными заводами.

Порядокъ изготовленія такихъ трубъ вкратцѣ таковъ.

Изъ короткихъ полосъ сваривается длинная полоса, такой длины, чтобы хватило на цѣлую трубу (напр. для трубы въ 150 mm діаметромъ и въ 9 метровъ длиною— полоса около 15 метровъ длиною и около 300 mm ширины). Затѣмъ полоса идетъ въ машину, гдѣ прежде всего сгибается въ спираль съ постояннымъ шагомъ (для приведеннаго примѣра трубы въ 150 mm уголъ винтовой линіи = около 50°). Подающіе полосу валики производятъ подачу періодически, каждый разъ на длину отъ 3 до 15 mm. При свертываніи получается напускъ кромокъ и постепенно мѣсто напуска нагрѣвается на газовомъ пламени до сварочнаго жара и при дальнѣйшемъ движеніи черезъ машину заваривается ударами маленькаго быстроходнаго молота, причемъ послѣ каждаго удара молота упомянутые выше валики и подаютъ полосу на 3 — 15 mm. Все это скомбинировано въ одномъ станкѣ, такъ что съ одного конца входитъ полоса, а съ другого — выходитъ труба. Въ общемъ — похоже на изготовленіе спирально-клепаныхъ трубъ.

Особеннаго распространенія спирально-сваренныя трубы не имѣютъ, такъ какъ съ ними успѣшно конкуррируютъ цѣльнотянутыя трубы и обыкновенныя сварныя трубы.

Съ соединеніемъ листовъ при помощи сварки имѣетъ большое сходство соединеніе посредствомъ пайки крѣпкимъ припоемъ. Но спаиваніе употребляется почти исключительно при мѣдныхъ и латуныхъ трубахъ, паяныя же желѣзныя и стальныя трубы въ практикѣ встрѣчаются крайне рѣдко.

Изъ литературныхъ источниковъ касательно дальнѣйшихъ подробностей относительно сварныхъ трубъ, укажу слѣдующіе:

Прейскуранты и проспекты названной выше фирмы *Thomas Piggott*. Они содержатъ въ себѣ многія интересныя свѣдѣнія. Такъ напр., сравненія стоймости изготовленія и перевозки въ колоніи трубъ чугунной и сварной стальной, взятые изъ дѣйствительности. Интересны слѣдующія данныя:

Перевозка стальныхъ сварныхъ трубъ моремъ . . . . . на 25% дешевле, нежели чугунныхъ;

„ „ „ „ по желѣзной дорогѣ . . . . втрое дешевле;

„ „ „ „ по обыкновен. дорогѣ . . . втрое дешевле;

Затѣмъ въ проспектахъ имѣются размѣры трубъ, допускаемыя давленія и пр.

Журналъ „*Engineering News*“.

1895 годъ, Мартъ 21. — Объ испытаніяхъ сварныхъ трубъ и ихъ флянцевъ гидравлическимъ давленіемъ, до разрушенія.

1903 годъ, Октябрь 1. — Статья „О коммерческихъ желѣзныхъ и стальныхъ трубахъ“. Содержитъ краткія но полезныя свѣденія объ изготовленіи, пробѣ, матеріалахъ, соединеніи муфтами на рѣзьбѣ, ржавленіи и пр.

1908 годъ, Февраль 27.—Детальныя данныя относительно стоймости укладки линіи трубъ (7000 футъ длины 8-дюймовой трубы и 4000 футъ — 6-дюймовой). Полная расцѣнка всѣхъ работъ.

Журналъ „*The Practical Engineer*“.

1906 годъ, 6 Іюля. — О сплющивающемъ давленіи для сварныхъ стальныхъ трубъ. Опыты производились надъ коммерческими, ходовыми трубами съ діаметрами отъ 3 до 10 дюймовъ. Статья содержитъ интересныя данныя о вліяніи длины и пр.

Результаты опытовъ резюмируются въ слѣдующихъ формулахъ:

$$p = 1000\left\{1 - \sqrt{1 - 1600\frac{\delta^2}{d^2}}\right\} \quad . \quad (a)$$

$$p = 86670\frac{\delta}{d} - 1386 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b),$$

гдѣ

p есть давленіе, могущее сплющить трубу, въ фунтахъ на □ дюймъ;

d — наружный діаметръ трубы, въ дюймахъ;

δ — толщина стѣнки, въ дюймахъ.

Обѣ формулы примѣнимы къ тому случаю, когда длина трубы болѣе шести діаметровъ (при переходѣ длины за 6 діаметровъ дальнѣйшее увеличеніе ея не вліяетъ на опасность сплющиванія, поэтому длина въ формулу и не входитъ). При длинѣ менѣе 6 діаметровъ формулы не примѣнимы и съ такими длинами опытовъ не дѣлалось.

Формула (*a*) должна примѣняться, если давленіе p будетъ менѣе 581 фунта на □ дюймъ, или если отношеніе $\frac{\delta}{d}$ будетъ менѣе 0,023; если же p болѣе 581 фунта на □ дюймъ, или $\frac{\delta}{d}$ болѣе 0,023, то надо пользоваться формулою (*b*).

II). Цѣльнотянутыя трубы.

(Трубы безъ шва).

§ 81. Подъ именемъ *цѣльнотянутыхъ* трубъ (или *трубъ безъ шва*) подразумѣваютъ такія трубы, которыя изготовлены не изъ свернутаго въ цилиндръ листа, сваренаго или склепаннаго и т. п., а изъ цѣльнаго куска матеріала, въ которомъ разными путями получено углубленіе и въ концѣ концовъ образованъ цилиндръ, но боковая поверхность этого цилиндра, во все время процесса, разрыва не получала, такъ что

никакого шва нѣтъ. Хотя и не всегда процессъ изготовленія бываетъ непремѣнно протягиваніе, а иногда примѣняются и другіе способы: прокатка, штамповка и различные сложные процессы, тѣмъ не менѣе названіе „цѣльнотянутыя“ трубы примѣняется въ практикѣ обыкновенно ко **всѣмъ** такимъ сортамъ трубъ, хотя названіе „трубы безъ шва“—правильнѣе.

Цѣльнотянутыя трубы готовятся обыкновенно съ довольно умѣреннымъ діаметромъ, такъ не свыше 10 дюймовъ; если діаметръ трубы болѣе 10 дюймовъ, то обыкновенно дѣлаютъ трубу сварной или клепаною; трубы, раскатанныя по способу Маннесманна на особомъ станкѣ (Пильгервальценъ), дѣлаются и съ діаметрами болѣе 10 дюймовъ.

Относительно изготовленія цѣльнотянутыхъ трубъ литература является еще болѣе скупою, нежели относительно изготовленія трубъ сварныхъ. Каждый заводъ готовитъ свои трубы по одному какому нибудь патентованному способу и детали производства всегда держатся въ секретѣ. Поэтому, я здѣсь ограничусь лишь самыми общими замѣчаніями.

Несмотря на довольно значительное разнообразіе тѣхъ способовъ полученія цѣльнотянутыхъ трубъ, которые въ настоящее время примѣняются различными заводами, сущность тѣхъ деформацій, которыя долженъ претерпѣть матеріалъ прежде чѣмъ онъ получить форму готовой, длинной и тонкой трубы, остается вездѣ болѣе или менѣе одна и та же. Можно сказать, что всѣ процессы идутъ по одному шаблону. Именно, вездѣ матеріалъ, изъ котораго будетъ получена труба, имѣетъ первоначально форму сплошной *болванки*, т. е. короткаго и толстаго призматическаго (въ частномъ случаѣ— круглаго) куска желѣза или стали, въ которомъ затѣмъ, тѣмъ или инымъ способомъ, получаютъ продольное отверстіе. Этимъ оканчивается первый періодъ изготовленія. Второй періодъ состоитъ въ томъ, чтобы полученную такимъ образомъ короткую и толстую трубу удлиннить въ нѣсколько разъ и получить окончательную, тонкостѣнную и длинную трубу. Сущность работы въ этомъ второмъ періодѣ всегда состоитъ въ томъ, что частицамъ раскаленнаго матеріала надобно сообщить движенія, параллельныя оси трубы, или, во всякомъ случаѣ, имѣющія слагающія, параллельныя оси трубы, такъ чтобы матеріалъ вытягивался въ длину.

Подъ это опредѣленіе, съ нѣкоторыми отступленіями, подходятъ всѣ примѣняемые до сихъ поръ процессы изготовленія цѣльнотянутыхъ трубъ.

Скажемъ объ нихъ нѣсколько словъ.

Сплошная болванка получается обыкновенно путемъ прокатки. Полученіе же въ ней отверстія (которое можетъ идти насквозь, во всю длину болванки, или не насквозь, такъ что остается донце) производится нѣсколькими способами.

По способу *Эрларта* сплошная болванка вставляется во внутрь полаго цилиндра (или призмы), котораго поперечное сѣченіе болѣе, чѣмъ таковое же болванки; затѣмъ, концентрично съ обоими, въ болванку вдавливаютъ стержень, котораго площадь равна разности названныхъ сѣченій. Болванка заполняетъ тогда пустоту между нею и оболочкой и получается въ ней пустота, которая можетъ быть и сквозной, и не сквозной, такъ что останется донце, необходимое для дальнѣйшаго процесса вытягиванія.

Иногда въ болванкѣ отверстіе первоначально сверлятъ, а затѣмъ раздаютъ его пробойникомъ.

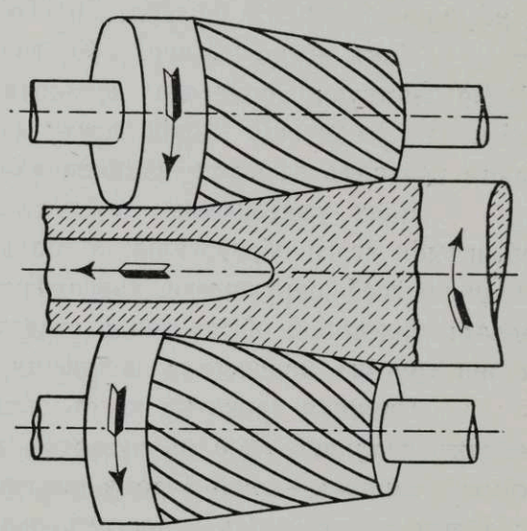
Нѣсколько отличнымъ является изготовленіе трубъ при помощи штамповки. Здѣсь толстой болванки нѣтъ, или, вѣрнѣе, она имѣетъ форму листа или кружка, который сразу подвергается процессу удлиненія вдоль оси будущей трубы.

Самымъ оригинальнымъ способомъ полученія пустоты въ сплошной болванкѣ является способъ, изобрѣтенный въ Германіи братьями Максъ и Рейнгардъ *Маннесманнъ*, и примѣняемый и до сихъ поръ заводами, которые спеціально готовятъ такъ называемыя Маннесмановскія трубы. Объ этомъ способѣ столько писалось, что

входить въ подробности здѣсь нѣтъ надобности; напомнимъ лишь суть дѣла и скажемъ, наоборотъ, о томъ, о чемъ почти нигдѣ не говорится, или даже говорится совершенно превратно.

Сущность способа полученія болванки по методу бр. Маннесманнъ, въ томъ видѣ, какъ она ведется теперь на заводахъ Маннесмановскихъ трубъ, и какъ я самъ имѣлъ удовольствіе видѣть въ 1907 г., благодаря любезности директора завода въ Ратъ, возлѣ Дюссельдорфа, Г-на Пастора, состоитъ въ слѣдующемъ.

Имѣется станокъ, напоминающій собою прокатный станокъ, съ парою вальцевъ, направленіе вращенія которыхъ такое, какъ показано на чертежѣ 160. Но въ обыкновенномъ станкѣ вальцы цилиндрическіе и стоятъ такъ, что оси ихъ перпендикулярны къ направленію прокатки, по которому идетъ прокатываемое тѣло, получающее только поступательное движеніе; въ станкѣ же Маннесманнъ вальцы стоятъ *косо*, такъ что ихъ оси и не параллельны, и не перпендикулярны къ направленію прокатки, а образуютъ съ нимъ нѣкоторый уголъ. Благодаря этому, вальцы, дѣйствуя треніемъ на прокатываемую вещь, сообщаютъ ей не только продольное движеніе, производя прокатку, но въ то же время даютъ ей и вращательное движеніе вокругъ ея оси. Если бы это движеніе происходило довольно медленно, то оно не внесло бы особаго измѣненія въ обычный процессъ; но такъ какъ вращеніе дѣлается весьма быстрымъ, то происходитъ новое и почти загадочное явленіе, котораго не наблюдалось раньше. Именно, при достаточной скорости вращенія болванка разрывается у своей оси и затѣмъ матеріалъ разлѣзается въ стороны, отъ оси къ окружности; въ вальцы входитъ круглый сплошной цилиндръ, а выходитъ изъ нихъ цилиндръ *съ пустотой внутри* — труба, или толстостѣнная болванка. Если вся операція ведется аккуратно и симметрично, то получающаяся пустота располагается концентрично съ самой наружной поверхностію болванки, такъ что толщина стѣнокъ вездѣ выходитъ одинакова. Понятіе о формѣ и расположеніи вальцевъ и о характерѣ явленія даетъ чер. 160.



Чер. 160.

Этотъ таинственный и оригинальный способъ появился въ 1890 году и надѣлалъ много шума. Сущность процесса и до сихъ поръ не объяснена. Первоначально изобрѣтатели надѣялись получать при помощи своего процесса не только болванки, но и всевозможныя трубы, и не только постояннаго діаметра и толщины, но и перемѣнныхъ; въ самомъ дѣлѣ, если во время процесса работы измѣнять скорость поступательнаго движенія и скорость вращенія, то, теоретически, возможно получить различные діаметры и толщины, такъ что казалось возможнымъ катать трубы съ раструбами, расширеніями и пр.

Дѣйствительность, однако, *не оправдала этихъ ожиданій*. Тѣ измѣненія, которыя необходимы для полученія сказанныхъ результатовъ, оказались слишкомъ деликатными для такого станка. Пришлось отказаться отъ этой соблазнительной перспективы и ограничиться полученіемъ на Маннесмановскомъ станкѣ *только болванокъ*, а окончательно готовить трубы инымъ способомъ, и какъ таковой, заводы Маннесмановскихъ трубъ приняли изобрѣтенный Маннесманнами же способъ особой прокатки въ такъ называемыхъ „Пильгервальценъ“, о чемъ сказано будетъ далѣе.

Но, какъ это ни странно, за исключеніемъ одного-двухъ спеціальныхъ сочиненій о трубахъ, во всѣхъ остальныхъ Нѣмецкихъ курсахъ „Деталей Машинъ“ и т. п. (а Нѣмцы только и готовятъ Маннесмановскія трубы) систематически повторяется, что

по способу Маннесманнъ готовятся трубы съ перемѣнной толщиной стѣнки, съ раструбами и пр. и пр. Говорится это даже и въ такомъ серьезномъ сочиненіи, какъ „Детали Машинъ“ Баха.

На самомъ дѣлѣ, какъ я лично убѣдился при подробномъ осмотрѣ завода въ Ратъ, способъ „косой прокатки“ бр. Маннесманновъ примѣняется *только для полученія полыхъ болванокъ*. Трубы же получаются на „Пильгервальценъ“.

Не входя въ подробности относительно способа Маннесманновъ, которыя можно найти въ литературѣ, укажемъ здѣсь лишь на слѣдующее. Практическое выполненіе процесса является не особенно легкимъ, такъ какъ прокатка болванки на станкѣ Маннесманнъ требуетъ огромной затраты работы (свыше тысячи лошадиныхъ силъ) и громадной скорости. Поэтому, трубы не дешевы. Но зато способъ имѣетъ и свое достоинство. Характерныя перемѣщенія частицъ матеріала по винтовымъ линіямъ, имѣющія мѣсто во время процесса прокатки по сист. Маннесманнъ, *уплотняютъ* и *улучшаютъ* матеріалъ, и, каковъ бы ни былъ дальнѣйшій способъ полученія трубъ (Пильгервальценъ, или нѣчто иное), матеріалъ все таки сохраняетъ сообщенную ему въ первомъ процессѣ крѣпость, и поэтому трубы Маннесманнъ являются гораздо болѣе прочными при той же толщинѣ стѣнки, или, наоборотъ, при той же степени надежности, могутъ получать гораздо меньшую толщину стѣнки, что̀ и имѣетъ мѣсто въ дѣйствительности (см. напр. табличку на табл. 76 *Атласа*, или каталогъ фирмы).

Какъ видно на чер. 160, вальцы имѣютъ форму не строго цилиндрическую, а болѣе сложную; форма эта необходима для полученія желаемаго результата. Кромѣ того, для увеличенія тренія между вальцами и прокатываемою болванкой, на поверхности вальцевъ дѣлаютъ насѣчки или борозды.

Какъ уже сказано, пустота внутри болванки образуется сама собою; но для облегченія этого образованія, а главное, для выглаживанія внутренности трубы и полученія по всей окружности равномѣрной толщины стѣнки и правильной круглой формы, передъ болванкой обыкновенно ставятъ *оправку*, подобную тѣмъ, какія употребляются и при другихъ процессахъ полученія пустотѣлыхъ цилиндровъ.

Начиная прокатку не съ самаго конца болванки и не доводя ее до конца, мы можемъ получить тѣло съ пустотою внутри и съ закрытыми концами. Интересный для химика вопросъ—„что̀ будетъ внутри“—въ свое время задавался химикамъ, а затѣмъ дѣлались анализы. Въ полостяхъ оказывались—водородъ и азотъ.

Трубы, съ болванками, раскатанными по методу Маннесманнъ, готовятся лишь немногими заводами Германіи.

Маннесмановскій способъ прокатки, естественно, вызвалъ подражанія; изъ многочисленныхъ патентованныхъ способовъ опишемъ здѣсь два, именно способъ *Штифеля*, который, повидимому, довольно распространенъ въ Америкѣ, и способъ *Чарнока*.

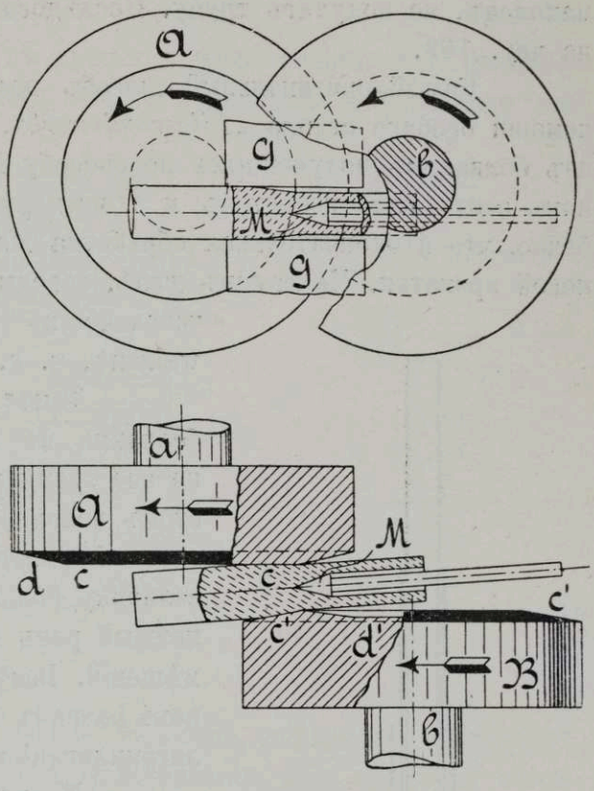
Способъ Штифеля похожъ, въ общемъ, на способъ Маннесманнъ, но отличается отъ него тѣмъ, что у Штифеля матеріалъ не получаетъ перемѣщеній по винтовымъ линіямъ, какъ у Маннесманновъ; лучше это или хуже—судить нельзя, данныхъ въ литературѣ слишкомъ мало. Прокатка по способу Штифеля показана на чер. 161.

Имѣются два диска A и B, вращающіеся вокругъ параллельныхъ осей. Между этими дисками помѣщается болванка, которая прижимается къ торцевой, плоской части $c\,c$ одного диска и къ конической $c'c'$ другого. Ось болванки проходитъ въ сторонѣ отъ линіи, соединяющей центры обоихъ вальцевъ. Диски, вращаясь по стрѣлкамъ, сообщаютъ болванкѣ во всѣхъ мѣстахъ ея длины почти одинаковую угловую скорость и въ тоже время даютъ ей и нѣкоторое движеніе впередъ, вслѣдствіе чего болванка налѣзаетъ на острую оправку M и въ результатѣ получается труба, подобно тому, какъ и въ способѣ Маннесманнъ, но только здѣсь вальцы не оказываютъ на болванку скручивающаго дѣйствія. Для того, чтобы держать прокатываемую болванку въ надлежащемъ положеніи, служатъ двѣ направляющихъ GG.

Патентъ на этотъ способъ взятъ Штифелемъ (Ralph Charles Stiefel, of Penn-

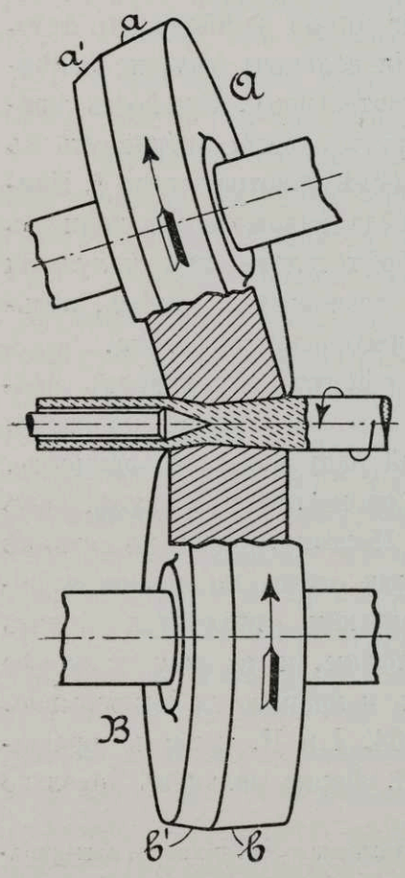
sylvania) въ 1895 году. Въ 1897 году Штифелемъ взятъ другой патентъ, на подобный же способъ, но только вальцы теперь имѣютъ форму *конусовъ*. Подробности можно найти у Маркса.

Патентъ Чарнока взятъ тоже въ 1897 году. У него, чер. 162, имѣется два вальца, причемъ рабочая поверхность каждаго вальца состоитъ изъ двухъ конусовъ *a* и *a'* и *b* и *b'*, расположенныхъ какъ показано на рисункѣ. Слѣдуетъ указать, что такая сложная поверхность назначена для того случая, если желаютъ получить не болванку, а прямо готовую гладкую трубу; для полученія же полой болванки достаточно ограничить каждый валецъ одною коническою поверхностію, такъ чтобы вершины конусовъ смотрѣли въ разныя стороны, т. е. сохранить лишь поверхности *a* и *b*. При этомъ способѣ матеріалъ тоже крученію не подвергается, какъ и у Штифеля.



Чер. 161.

Слѣдуетъ замѣтить, что для изготовленія болванокъ (и готовыхъ трубъ) по способу Маннесманна и ему подобнымъ (Штифеля, Чарнока и пр.) требуется сталь превосходнаго качества; плохой и неравномѣрный матеріалъ подобныхъ процессовъ не выдержитъ. Поэтому, самый фактъ изготовленія болванки или трубы по способу Маннесмановъ и имъ подобнымъ является уже значительною гарантіей доброкачественности матеріала.



Чер. 162.

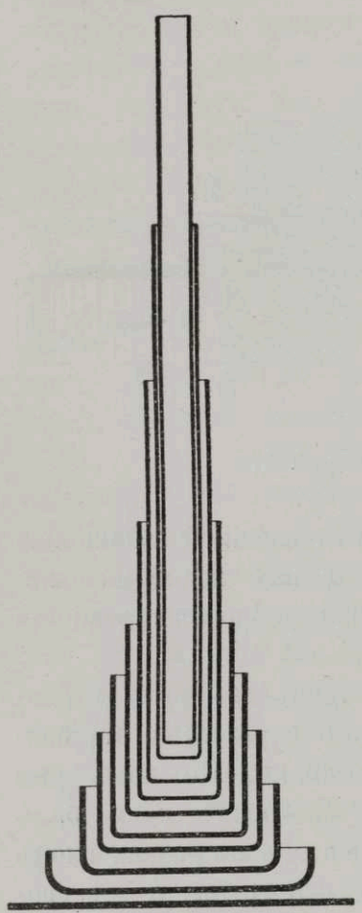
Окончательное полученіе трубъ изъ полыхъ болванокъ, независимо отъ того, какъ образована эта болванка, дѣлается различными способами. Но, какъ уже сказано раньше, во всѣхъ этихъ способахъ *суть дѣла* состоитъ въ томъ, чтобы вытягивать въ раскаленномъ состояніи металлъ по направленію оси трубы, и всѣ способы напоминаютъ или волоченіе или прокатку. Такихъ способовъ, исполненныхъ, а тѣмъ болѣе патентованныхъ, весьма много. Перечислимъ главнѣйшіе.

Наиболѣе распространены два способа: волоченіе трубъ и *прокатка* трубъ; при волоченіи пустотѣлая болванка проволакивается въ горячемъ состояніи черезъ отверстіе надлежащаго діаметра, въ которомъ поставлена неподвижная оправка подобно тому, какъ при изготовленіи сварныхъ трубъ. Подробности бываютъ разнообразны.

Прокатка трубъ производится нѣсколькими способами, именно, или съ подвижной оправкой или съ неподвижной. При прокаткѣ съ подвижной оправкой внутрь трубы помѣщается длинная оправка и вмѣстѣ съ нею труба и идетъ сквозь вальцы, а затѣмъ оправка вынимается. При прокаткѣ съ неподвижной оправкой стержень оправки можетъ работать или на сжатіе или на растяженіе; какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ оправка стоитъ неподвижно противъ вальцевъ, а труба прокатывается между нею и вальцами.

Штамповка трубъ состоитъ въ томъ, что изъ кружка небольшого діаметра, прогоняя его пунсономъ сквозь отверстіе (процессъ, опять напоминающій волоченіе), послѣдовательно получаютъ рядъ все болѣе длинныхъ и тонкихъ цилиндровъ, пока, наконецъ, не получатъ трубу. Послѣдовательный рядъ такихъ цилиндровъ изображенъ на чер. 163.

Самый оригинальный способъ полученія трубъ — это обработка болванки при помощи особаго станка „*Pilgerwalzwerk*“, примѣняемая на заводахъ, готовящихъ трубы изъ болванокъ полученныхъ по способу Маннесманна. Какъ уже сказано ранѣе, станокъ этотъ мало извѣстенъ и о немъ рѣдко упоминаютъ въ книгахъ, указывая ошибочно, что и окончательная обработка Маннесмановскихъ трубъ производится путемъ косой прокатки. На самомъ дѣлѣ, заводы такихъ трубъ раскатываютъ болванку окончательно въ трубу при помощи особыхъ вальцевъ „Pilgerwalzen“, т. е. пилигримовскіе вальцы.



Чер. 163.

Такое названіе дано потому, что обрабатываемая болванка въ этомъ станкѣ, въ отличіе отъ другихъ, идетъ не все время впередъ, какъ при простой прокаткѣ или простомъ волоченіи, а совершаетъ періодически попеременныя движенія *впередъ* и *назадъ*, но каждый разъ впередъ на величину бо́льшую, чѣмъ назадъ, подвигаясь, слѣдовательно, каждый разъ впередъ на разность двухъ сказанныхъ перемѣщеній. Вслѣдствіе такого движенія впередъ и назадъ станокъ названъ пилигримовымъ, а самый процессъ—„опилигримливаніемъ“ (Pilgern).

Подробностей объ этомъ интересномъ станкѣ нигдѣ нѣтъ, да и самая сущность процесса работы вездѣ описана крайне неудовлетворительно. Въ нѣкоторыхъ (и какъ разъ Нѣмецкихъ) источникахъ описаніе прямо ошибочно въ томъ смыслѣ, что направленіе вращенія вальцевъ указано невѣрное, какъ разъ обратное дѣйствительному. Сущность процесса, конечно, составляетъ секретъ завода, проникнуть въ который весьма трудно даже и послѣ осмотра завода *. Наиболѣе удовлетворительно суть дѣла изложена все таки въ описаніи, представленномъ изобрѣтателемъ для полученія патента, и этимъ описаніемъ я воспользуюсь здѣсь, пользуясь также и результатами личнаго осмотра завода.

До извѣстной степени процессъ напоминаетъ прокатку, но самое главное отличіе его отъ обычной прокатки, поражающее наблюдателя, первый разъ видящаго процессъ, состоитъ въ томъ, что вальцы вращаются навстрѣчу прокатываемой трубѣ, такъ что не втягиваютъ ее, а какъ бы выпихиваютъ вонъ. Поэтому, хотя въ станкѣ имѣются непрерывно вращающіеся вальцы съ параллельными осями, но процессъ никоимъ образомъ нельзя назвать прокаткой, такъ какъ болванку приходится тащить силою; перемѣщенія металла при этомъ процессѣ весьма сложны, и по виду я скорѣе назвалъ бы процессъ ковкой, а не прокаткой, хотя вальцы и вращаются непрерывно.

Въ станкѣ имѣется пара вальцевъ, *A* и *B*, чер. 164, I и II, которые вращаются въ противоположныя стороны, по стрѣлкамъ 1 и 2 **. Форма вальцевъ довольно

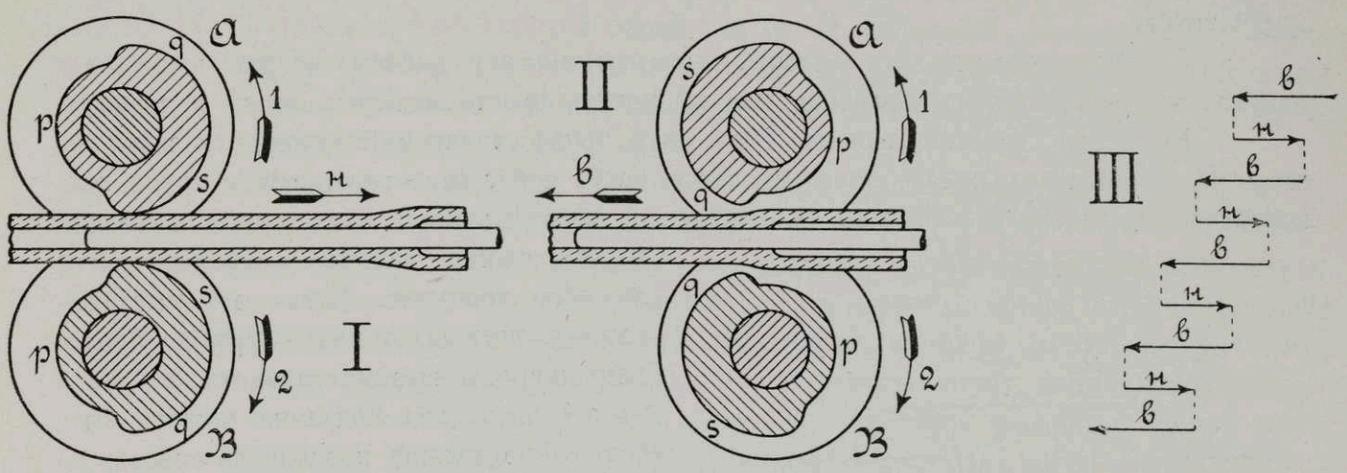
---

* который я могъ произвести благодаря любезности моего уважаемаго сослуживца, инженеръ-механика Н. А. Сушкина.

** какъ я уже упоминалъ, описанія процесса во многихъ Нѣмецкихъ сочиненіяхъ (у Леобнера, у Дигеля) невѣрны, такъ какъ направленіе вращенія вальцевъ показано такое, которое затягиваетъ болванку, а на самомъ дѣлѣ оно, какъ я самъ видѣлъ, и какъ и говорится въ патентномъ описаніи, обратное.

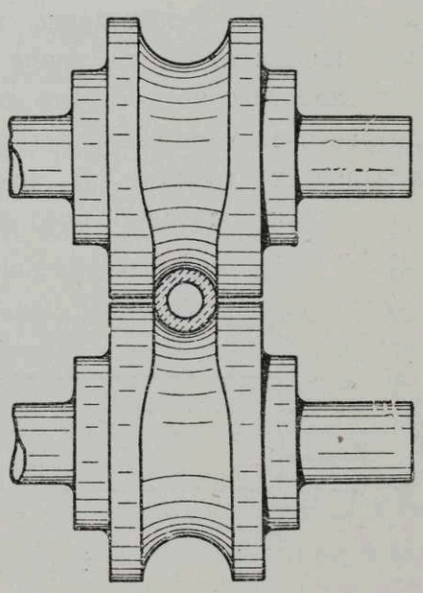
сложная. Размѣры ихъ, которыми они, такъ сказать, обрабатываютъ болванку, перемѣнные и по окружности, и по ширинѣ, какъ видно изъ чертежей 164 и 165. По окружности каждый валецъ состоитъ, въ сѣченіи перпендикулярномъ къ оси, изъ нѣсколькихъ различныхъ очертаній.

Главныхъ очертаній, играющихъ роль въ процессѣ изготовленія, три, именно: круговое очертаніе малаго радіуса концентрическое съ осью вращенія (обозначено на



Чер. 164.

чертежѣ черезъ p), потомъ слѣдуетъ эксцентрическое очертаніе, имѣющее форму вродѣ параболическаго, которое собственно и производитъ отдавливаніе или прокатку матеріала (q на чертежѣ) и затѣмъ круговое очертаніе большого радіуса, концентрическое съ осью, которое производитъ выглаживаніе трубы (s). Въ діаметральномъ сѣченіи, проходящемъ черезъ ось, профиль каждаго вальца имѣетъ форму полукруга, такъ что въ томъ мѣстѣ, гдѣ оба вальца стоятъ одинъ надъ другимъ и между ними проходитъ труба, всегда имѣется круглое отверстіе, большого или малаго діаметра, смотря по положенію вальцевъ, чер. 165.



Чер. 165.

Сущность самаго процесса изготовленія лучше всего описана въ привиллегіи Маннесманна и изъ нея почти буквально и заимствуемъ описаніе процесса.

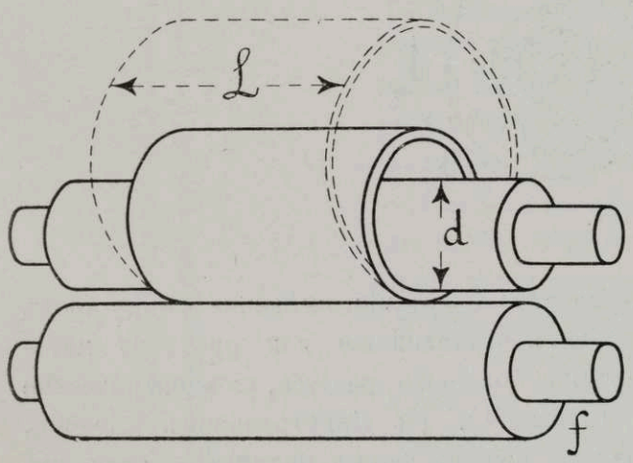
„Сущность процесса состоитъ въ полученіи трубъ и другихъ полыхъ тѣлъ на оправкѣ, причемъ металлическій предметъ, во время своего прохода сквозь вальцы, имѣетъ періодическое движеніе, поочередно впередъ и назадъ, и каждый разъ оба эти движенія сообщаются ему на небольшую часть полной длины, и обработка производится всякій разъ тоже лишь на ограниченной части длины; само же это обрабатываемое мѣсто постепенно перемѣщается вдоль изготовляемой трубы.

Такимъ образомъ, труба не обрабатывается непрерывно на всей своей длинѣ, но обрабатывается шагъ за шагомъ, такъ что обрабатываемое мѣсто постепенно подвигается вдоль трубы. Стало быть, въ то время какъ при обыкновенномъ волоченіи трубъ изготовляемая труба все время тащится сквозь волочильную доску въ одномъ направленіи, и размѣръ ея все время уменьшается благодаря проходу послѣдовательно сквозь нѣсколько отверстій все уменьшающагося діаметра, въ нашемъ случаѣ труба получаетъ окончательные размѣры сразу, во время прохода своего между вальцами, между которыми она остается, все время совершая рядъ сравнительно короткихъ перемѣщеній вдоль своей оси. Если конецъ трубы, съ котораго начинается ея обработка, назвать переднимъ, а противоположный конецъ—заднимъ,

движеніе трубы отъ задняго конца къ переднему — назвать переднимъ (*в* — на чертежѣ) а обратное движеніе — заднимъ (*н* — на чертежѣ), то можно сказать, что собственно самый процессъ полученія трубы происходитъ во время задняго движенія или, по крайней мѣрѣ, части его. Во время процесса изготовленія обыкновенно является необходимымъ послѣ каждаго воздѣйствія вальцевъ на трубу (т. е. послѣ каждаго оборота вальцевъ) *повернуть* трубу на нѣкоторый уголъ для того, чтобы получить болѣе равномѣрную толщину стѣнокъ, ибо тогда вальцы дѣйствуютъ послѣдовательно на разныя части окружности трубы.

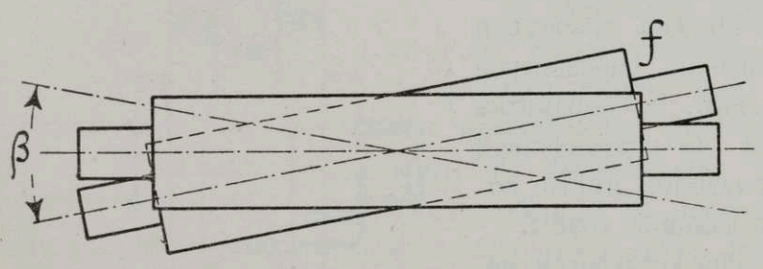
Слѣдуетъ сказать, что вальцы, выполняющіе эту работу, могутъ имѣть или непрерывное вращательное движеніе, или же могутъ просто качаться взадъ и впередъ.

Какъ уже сказано, вальцы образуютъ трубу во время движенія назадъ; на чер. 164, I, показанъ конецъ этого процесса, когда собственно изготовленіе трубы эксцентрическою частію вальца уже окончилось и изготовленная часть трубы выглаживается частію вальца, концентрическою съ осію вращенія. Когда это выглаживаніе окончится, то надъ трубою проходятъ широкія выемки вальцевъ p, p, и въ это время вся болванка можетъ быть безъ сопротивленія продвинута впередъ по направленію стрѣлки *в*, такъ что подъ дѣйствіе вальцевъ, при ихъ новомъ оборотѣ, подставляется слѣдующая часть длины болванки; положеніе вальцевъ не задолго до начала этого дѣйствія видно на чер. 164, II. При всякомъ оборотѣ вальцевъ болванка продвигается впередъ на величину бо́льшую, чѣмъ та, на которую она продвигается назадъ, такъ что, такимъ образомъ, постепенно вся длина болванки проходитъ подъ вальцами и болванка превращается въ трубу. Этотъ рядъ послѣдовательныхъ движеній впередъ и назадъ схематически показанъ на чер. 164, III. Во время самаго изготовленія трубы эксцентрическая часть вальцевъ производитъ подобіе прокатки отъ толстаго конца (отъ болванки) къ тонкому (къ готовой уже части трубы)“.



Чер. 166.

Для полученія трубъ значительнаго діаметра заводами Маннесмановскихъ трубъ прежде употреблялись особые грибовидные вальцы, какъ это и до сихъ поръ говорится въ книгахъ; на самомъ дѣлѣ теперь эти вальцы брошены и всѣ трубы, съ діаметромъ до 300mm получаются на Пильгервальценъ.



Чер. 167.

Для полученія трубъ значительнаго діаметра, но сравнительно небольшой длины, какъ напр. жаровыя трубы, котельные барабаны, центрофуги и т. п., прибѣгаютъ къ раскатыванію пустотѣлой болванки при помощи двухъ вальцевъ, чер. 166. При этомъ является затрудненіе, состоящее въ томъ, что чѣмъ длиннѣе желательно получить барабанъ, тѣмъ болѣе долженъ быть діаметръ внутренняго вальца d, для того, чтобы онъ не прогибался. Это затрудненіе обходитъ способъ, предложенный въ Германіи Эргартомъ въ 1903 г., и состоящій въ томъ, что нижній валокъ f, чер. 166 и 167, во время раскатыванія трубы совершаетъ въ горизонтальной плоскости колебательное движеніе взадъ и впередъ на нѣкоторый уголъ β,

благодаря чему давленіе постоянно и равномѣрно распредѣляется по всей длинѣ изготовляемаго цилиндра.

Такимъ способомъ готовятся цилиндры съ діаметромъ до 8 футъ и съ длиною до 10 футъ. Въ общемъ процессъ напоминаетъ собою разболваниваніе бандажей для колесъ желѣзнодорожнаго подвижного состава.

Слѣдуетъ упомянуть еще и о томъ, что, наоборотъ, для полученія трубокъ сравнительно небольшого діаметра прибѣгаютъ къ проволакиванію въ холодномъ состояніи: получивъ путемъ горячей обработки трубу извѣстнаго наименьшаго возможнаго діаметра, дальнѣйшее уменьшеніе діаметра ея производятъ затѣмъ уже проволакивая трубу въ холодномъ видѣ сквозь волочильныя отверстія; такъ готовятся небольшія трубки для водотрубныхъ котловъ и пр.

Скажемъ, въ заключеніе, нѣсколько словъ относительно *сравнительныхъ достоинствъ* сварныхъ и цѣльнотянутыхъ трубъ.

Какъ уже было упомянуто ранѣе, при діаметрѣ трубы свыше 250—300 миллиметровъ ее приходится дѣлать не цѣльнотянутою, а сварною, стало быть, о сравненіи здѣсь разговаривать не приходится. Если же требуются трубы съ діаметромъ менѣе 250 mm, то можно употребить и сварную и цѣльнотянутую трубу, и въ практикѣ встрѣчаются и тѣ и другія. Мнѣнія на этотъ счетъ могутъ быть различны. Напр., такая крупная фирма, какъ Берлинскій заводъ „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“, отдаетъ рѣшительное предпочтеніе сварнымъ трубамъ, приводя въ пользу ихъ слѣдующія преимущества по сравненію съ цѣльнотянутыми:

1). Цѣльнотянутыя трубы во время своего процесса изготовленія подвергаются гораздо болѣе тяжелымъ напряженіямъ, нежели сварныя, и поэтому матеріалъ цѣльнотянутыхъ трубъ иногда можетъ оказаться надорваннымъ, а съ сварными трубами этого никогда не бываетъ.

2). Цѣльнотянутыя трубы могутъ иногда подвергнуться пережогу, вслѣдствіе нагрѣва матеріала до очень высокой температуры, и благодаря этому увеличивается хрупкость матеріала.

3). Вслѣдствіе той же большей хрупкости и жесткости сгибаніе цѣльнотянутыхъ трубъ можетъ скорѣе повести къ порчѣ сгибаемой трубы, нежели при сварныхъ трубахъ.

4). Толщина стѣнокъ сварныхъ трубъ болѣе равномѣрна, нежели у трубъ цѣльнотянутыхъ, гдѣ легче встрѣтить неравномѣрную толщину стѣнокъ.

Что̀ касается самихъ цѣльнотянутыхъ трубъ, то изъ нихъ, повидимому, слѣдуетъ считать наиболѣе совершенными, въ смыслѣ разномѣрности матеріала по всей длинѣ трубы, тѣ трубы, которыя готовятся посредствомъ „опилигримливанія“, такъ какъ при этомъ процессѣ труба не тянется все время по всей своей длинѣ (благодаря чему, при обычныхъ процессахъ протягиванія, какъ разъ легко и появляются надорванныя мѣста) а обрабатывается каждый разъ лишь на небольшой части длины, и притомъ процессомъ, близкимъ къ прокаткѣ, а не волоченіемъ. Кромѣ того, вся труба готовится здѣсь съ одного нагрѣва (и болванка на станкѣ съ косой прокаткой и труба на „Пильгервальценъ“ готовятся съ начала до конца всего лишь съ одного нагрѣва).

Подробности относительно качествъ матеріала для цѣльнотянутыхъ трубъ, пріемки ихъ и пр., можно найти у Дигеля, въ названномъ выше сочиненіи его.

———*———

ГЛАВА X.

Желѣзныя и стальныя трубы.

Соединенія желѣзныхъ и стальныхъ трубъ.

I). Соединенія флянцами.

§ 82. При желѣзныхъ и стальныхъ трубахъ флянцы всегда изготовляются отдѣльно и скрѣпляются затѣмъ съ трубою однимъ изъ тѣхъ способовъ, о которыхъ говорилось въ главѣ V. Здѣсь добавимъ лишь нѣкоторыя подробности.

При клепаныхъ трубахъ, какъ уже сказано ранѣе, употребляются желѣзные или стальные флянцы *, или сваренные изъ угольниковъ, или штампованные, или разболваненные изъ цѣльной болванки, подобно бандажу, или изъ стальнаго литья; эти послѣдніе при клепаныхъ трубахъ встрѣчаются рѣдко, а чаще примѣняются при сварныхъ и цѣльнотянутыхъ трубахъ не особенно большого діаметра. Добавлять здѣсь еще что нибудь къ сказанному ранѣе—нечего.

При сварныхъ и цѣльнотянутыхъ трубахъ флянцы дѣлаются такими же, какъ и при клепаныхъ; соединяться же съ трубою они могутъ всѣми способами, указанными ранѣе, именно: приклепываніемъ, навертываніемъ на рѣзьбѣ, развальцовкой, посадкой и сваркой. Прибавимъ здѣсь нѣкоторыя новыя подробности и, прежде всего, относительно послѣдняго способа, именно приваріванія флянцевъ.

До послѣдняго времени сварка производилась обычнымъ путемъ, при нагрѣвѣ мѣста сварки какимъ нибудь пламенемъ отъ обыкновеннаго топлива. Въ послѣднее время къ привариванію флянцевъ съ успѣхомъ примѣнена сварка помощію *электрическаго тока*, и, главнымъ образомъ, способы Русскихъ изобрѣтателей, Бенардоса и Славянова.

На Англійскомъ заводѣ Lloyd and Lloyd's Coombs Wood Works, near Halesowen привариваніе стальныхъ флянцевъ къ стальнымъ трубамъ при помощи электричества практикуется съ 1890 года и ведется по способу Бенардоса слѣдующимъ образомъ.

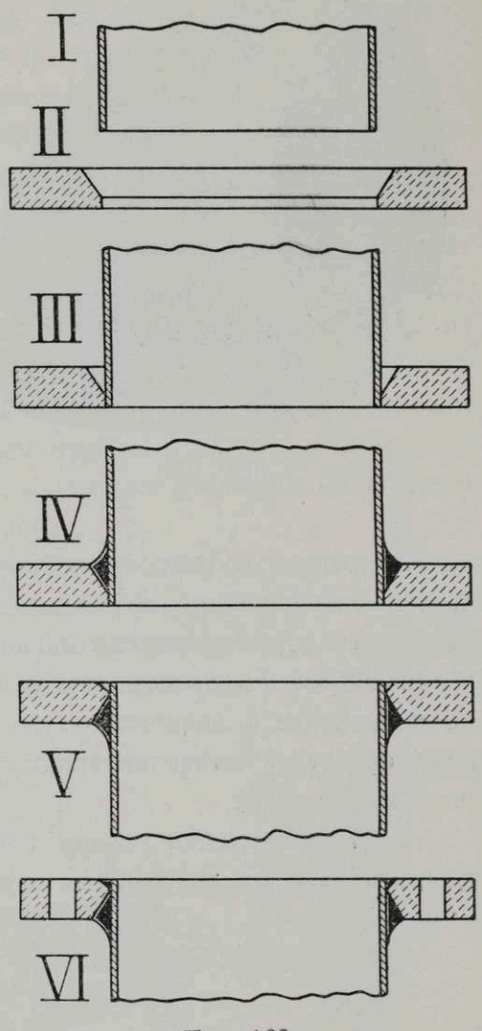
Флянецъ штампуется подъ паровымъ молотомъ такимъ образомъ, что въ немъ образуется коническое углубленіе, чер. 168, II. Глубина этого коническаго углубленія составляетъ около $^3/_4$ толщины флянца. Послѣ этого флянецъ надѣвается на оконечность трубы (I) съ относительной расточкой и вывѣряется такъ, чтобы стоялъ перпендикулярно къ оси трубы, чер. 168, III. Затѣмъ въ углубленіе флянца кладутся маленькіе кусочки стали и этотъ металлъ, играющій какъ бы роль припоя, плавится при помощи электри-

* чугунные—рѣдко.

ческаго тока, Бенардосовскимъ паяльникомъ, по всей окружности. По окончаніи этой операціи флянецъ оказывается привареннымъ къ трубѣ на высотѣ около $^3/_4$ своей толщины, чер. 168, IV. Чтобы окончательно сварить его съ трубою и на остальной четверти толщины, на этой послѣдней четверти толщины дѣлаютъ такое же коническое углубленіе, но его выжигаютъ теперь при помощи той же вольтовой дуги, чер. 168, V, затѣмъ въ образовавшееся углубленіе кладутъ опять кусочки стали и расплавляютъ ихъ такъ же, какъ и при первой приваркѣ, такъ что флянецъ теперь оказывается привареннымъ по всей своей толщинѣ, чер. 168, VI.

При испытаніяхъ трубъ съ такими флянцами на разрывъ сварка оказывалась крѣпче трубы, такъ какъ рвалась труба, а флянецъ отъ трубы не отдѣлялся (Engineering, 1896 г., Мау 22).

Въ настоящее время дѣло приварки флянцевъ настолько развилось, что является возможнымъ приваривать съ успѣхомъ флянцы къ трубамъ до 30 дюймовъ въ діаметрѣ.



Чер. 168.

Относительно флянцевъ, навернутыхъ на рѣзьбѣ обычнымъ образомъ, слѣдуетъ замѣтить, что они работаютъ удовлетворительно въ смыслѣ герметичности (въ особенности при паропроводахъ и воздухопроводахъ) лишь при давленіяхъ не свыше 5—6 атмосферъ и при діаметрахъ трубъ такъ не свыше 150mm, да и то приходится послѣ ввертыванія трубы во флянецъ раздавать конецъ ея раскаткой или же чеканить. Въ самомъ дѣлѣ, если внутренній діаметръ прокладочнаго кольца будетъ больше наружнаго діаметра трубы, то жидкость будетъ пробираться наружу по рѣзьбѣ, между трубой и флянцемъ. Даже если прокладка и заходитъ ближе къ внутренности трубы, все равно, толщина стѣнки трубы незначительна и жидкость можетъ пробираться наружу. Поэтому, при большихъ давленіяхъ приходится видоизмѣнять соединеніе такъ, чтобы оно не текло.

Прекрасная конструкція навертныхъ флянцевъ для огромныхъ давленій показана на фиг. 5—6, табл. 79 *Атласа*. Къ сказанному тамъ добавлять почти нечего. Конструкція примѣняется для трубъ гидравлическихъ прессовъ и т. п. Сами трубы могутъ быть или цѣльнотянутыя, или сверленыя. Флянцы бываютъ или изъ кованой стали, или изъ стальнаго литья.

Другая, тоже очень хорошая конструкція для высокихъ давленій показана въ *Атласѣ* на табл. 83, фиг. 1—10, и тамъ подробно объяснена сущность ея, заключающаяся въ томъ, что жидкость, могущая пробираться между трубою и рѣзьбою, перехватывается свинцовымъ кольцомъ, заложеннымъ въ выточку флянца, и прижимаемымъ къ трубѣ нѣсколькими шурупами, впущенными во флянецъ. Достоинство этого соединенія состоитъ еще въ томъ, что при сборкѣ трубопровода не требуется точной обрѣзки и вывѣрки трубъ по длинѣ.

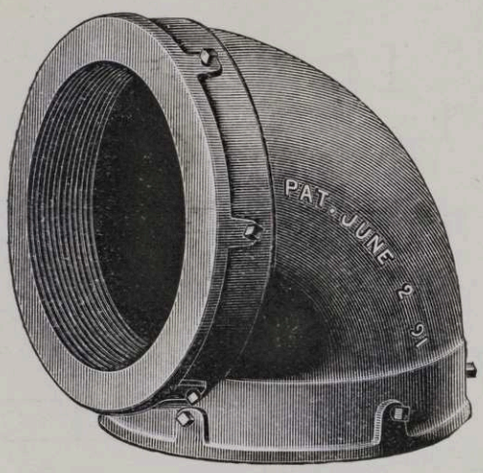
Для наглядности помѣщаемъ еще здѣсь на чер. 169 перспективный видъ колѣна съ такимъ соединеніемъ, подобнаго тому, чертежъ котораго имѣется въ *Атласѣ* на фиг. 8—9 табл. 83.

Рѣзьбу предпочитаютъ *Витворта* (газовую), а не Селлерса.

Кромѣ затрудненія—получить герметичность, имѣется у навертныхъ на рѣзьбѣ

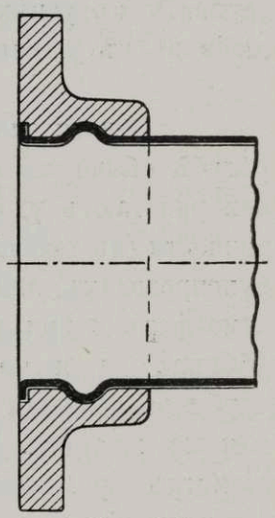
флянцевъ еще и другое неудобство, именно, при діаметрѣ свыше 400mm нарѣзаніе рѣзьбы на трубѣ становится невозможнымъ, и тогда приходится прибѣгать къ приклепыванію или привариванію флянцевъ, или же къ другимъ, новымъ способамъ—откладкѣ закраинъ и т. п.

Въ послѣднее время соединеніе трубъ при помощи флянцевъ, цѣпляющихся за отложенные края трубъ, все болѣе и болѣе привлекаетъ къ себѣ симпатіи инженеровъ *. Такое соединеніе дѣлается, главнымъ образомъ, по двумъ способамъ. Или трубы просто отгибаются, какъ напр. на фиг. 8, 10 и 11 табл. 76, или же въ горлѣ флянца дѣлается еще и выемка, куда при развальцовкѣ загоняется матеріалъ стѣнки трубы, чер. 170.

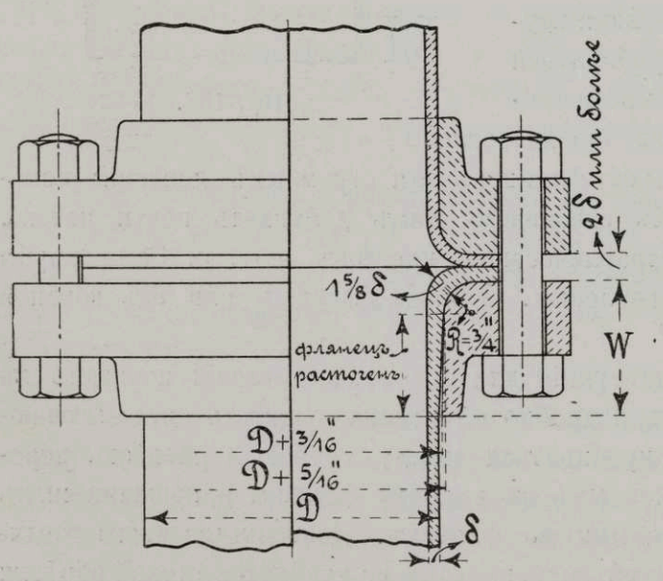


Чер. 169.

Преимущества соединенія съ отложенными закраинами слѣдующія. Во-первыхъ, такое соединеніе болѣе герметично, нежели соединеніе съ флянцами на рѣзьбѣ; вовторыхъ, это соединеніе обладаетъ нѣкоторою подвижностію, что̀ весьма важно при сборкѣ трубопровода, и въ третьихъ, оно отличается значительною крѣпостью; изготовленіе же его обходится немногимъ дороже, нежели навертываніе флянцевъ на рѣзьбѣ. По сравненію же съ приваренными флянцами такое соединеніе обходится дешевле и является болѣе крѣпкимъ, такъ какъ при немъ нѣтъ опасности сжечь матеріалъ, что̀ вполнѣ возможно при приварномъ флянцѣ.


Чер. 170.

Въ послѣднее время соединеніе при помощи флянцевъ, цѣпляющихся за отложенныя закраины трубъ усовершенствовано въ томъ отношеніи, что прежде трубы въ мѣстѣ загиба не обрабатывались, такъ какъ толщина ихъ уменьшилась бы, а она и безъ того мала, въ настоящее же время конецъ трубы утолщается приблизительно раза въ полтора противъ нормальной толщины стѣнки, и затѣмъ это отложенное мѣсто трубы точно обтачивается съ обѣихъ сторонъ, такъ же какъ и самый флянецъ въ тѣхъ мѣстахъ, которыя обращены къ трубѣ, т. е. внутри горла и на плоской сторонѣ, гдѣ онъ прилегаетъ къ отложенной закраинѣ трубы; благодаря этому достигается вполнѣ плотное и надежное прилеганіе флянца къ отложеннымъ закраинамъ трубы и обезпечиваются прочность и герметичность. Такое улучшенное соединеніе съ нѣкоторыми размѣрами показано на чер. 171. Оконечность трубы утолщается или посредствомъ привариванія вокругъ трубы полоски или инымъ путемъ,

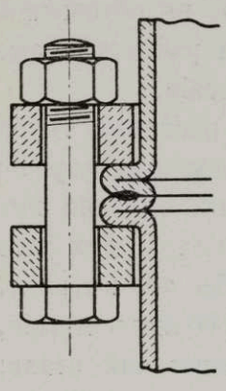


Чер. 171.

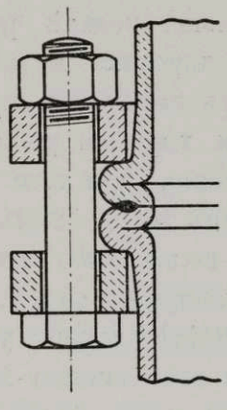
* У Англичанъ соединеніе при помощи флянцевъ, цѣпляющихся за отложенныя на трубахъ закраины, получило вообще названіе соединенія Ванъ-Стона (Van Stone Joint), а самая операція

но вообще настолько, чтобы и послѣ обтачиванія трубы въ мѣстѣ откладки осталась толщина никакъ не меньшая нормальной толщины стѣнки, какъ то и показано на чертежѣ, у верхней трубы.

Слѣдуетъ упомянуть, что для возможности откладыванія закраинъ трубы должны быть сдѣланы изъ мягкой Сименсъ-Мартеновской стали; трубы изъ Бессемеровской стали уже не такъ хорошо выносятъ эту операцію и иногда портятся; что же касается сварочнаго желѣза, то трубы изъ него совершенно невозможно подвергать такой откладкѣ, какая нужна для изготовленія соединенія, ибо трубы почти всегда трескаются.



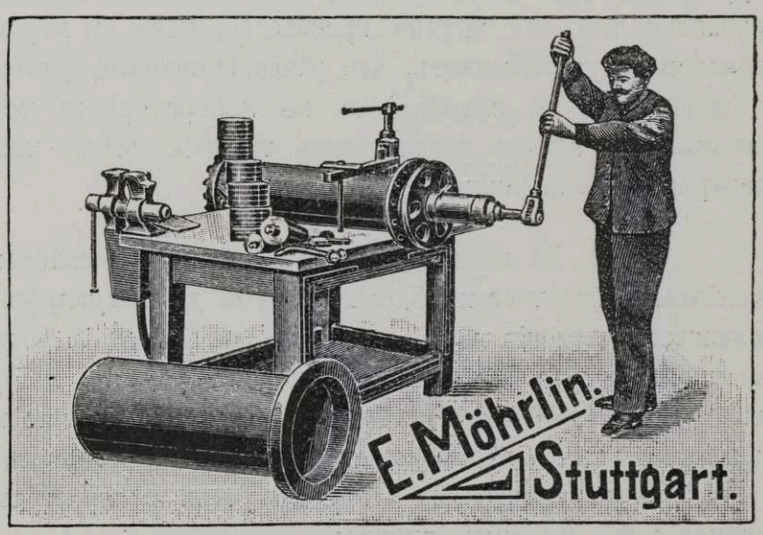
Чер. 172.



Чер. 173.

Аналогичное съ соединеніемъ Ванъ-Стона устройство, съ двойною, такъ сказать, откладкою закраинъ, примѣняется заводами Маннесмановскихъ трубъ для соединенія трубъ при высокомъ давленіи. На чер. 172 и 173 изображены два типа такихъ соединеній. На чер. 172 — соединеніе, гдѣ края трубъ просто заворочены дважды сами на себя, что возможно только благодаря превосходнымъ качествамъ стали, идущей для изготовленія Маннесмановскихъ трубъ, а на чер. 173—соединеніе „усиленное“, гдѣ откладываемые края трубъ нѣсколько утолщены. Это второе устройство примѣняется въ наиболѣе серьезныхъ случаяхъ.

Откладка производится спеціальнымъ прессомъ. Прокладкою служатъ: резиновыя, гуттаперчевыя и подобныя имъ кольца, удерживаемыя отъ выпиранія кольцомъ изъ красной мѣди крестообразнаго сѣченія; эта прокладка помѣщается въ выточку между закраинами двухъ трубъ и никоимъ образомъ выперта быть не можетъ. Соединеніе выдерживаетъ безъ течи давленіе въ *тысячу* атмосферъ; раньше, чѣмъ потечетъ соединеніе, лопается труба.



Чер. 174.

Кромѣ откладыванія закраинъ въ настоящее время весьма распространено также скрѣпленіе флянца съ трубою посредствомъ раскатыванія трубы, при которомъ матеріалъ трубы входитъ въ выточки флянца, какъ это видно, напр., на фиг. 11 и 12 табл. 83 и на фиг. 6 табл. 89. Такое соединеніе можетъ свободно примѣняться для трубъ съ діаметромъ до 400 mm. Удобство этого способа, по сравненію, напр., съ привариваніемъ или приклепкою флянцевъ, состоитъ въ томъ, что раскатку трубъ во флянцѣ легко можно производить *на мѣстѣ*, тамъ, гдѣ собирается трубопроводъ, тогда какъ привариваніе на мѣстѣ произведено быть не можетъ, а должно производиться на заводѣ, приклепываніе же на мѣстѣ хотя и можетъ быть произведено, но лишь съ большими затрудненіями.

Раскатка или развальцовка трубы во флянцѣ производится подобно тому, какъ

откладки носитъ иногда названіе „Vanstoning“. Утеманъ (въ журналѣ Нѣмецкихъ инженеровъ за 1906 годъ) и Мейеръ, въ Engineering Record за 1900 г. называютъ соединеніемъ Ванъ-Стона лишь такое, гдѣ имѣется еще выточка во флянцѣ, въ которую завальцована труба, чер. 170.

и развальцовка дымогарныхъ и аналогичныхъ имъ трубъ; для этой цѣли въ настоящее время имѣются удобныя переносныя машинки, понятіе о которыхъ даетъ чер. 174. Подобная машина можетъ раскатывать трубы до 500 mm діаметромъ.

Нѣкоторые заводы довольствуются для скрѣпленія флянца съ трубою путемъ развальцовки однѣми выточками во флянцѣ; другіе же заводы (напр. фирма Зейффертъ въ Берлинѣ) дѣлаютъ еще во флянцѣ и легкое коническое расширеніе наружу, какъ это рекомендовалъ инж. Busse еще въ 1897 году (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1897 г., № 46). Кромѣ того, при большой подачѣ рѣзца, на обточенной поверхности флянца получаются мелкія винтовыя дорожки, куда при раскаткѣ тоже залѣзаетъ матеріалъ трубы и это тоже способствуетъ прочности скрѣпленія.

Слѣдуетъ еще замѣтить, что для полученія хорошей работы раскатки труба должна состоять изъ матеріала по возможности *мягкаго*, для того чтобы онъ хорошо раздавался и залѣзалъ въ выточки во флянцѣ; флянецъ же долженъ быть сдѣланъ изъ матеріала хотя прочнаго и не хрупкаго, но однако довольно твердаго, для того чтобы онъ давалъ раздаваемой трубѣ достаточно твердую опору; имѣя это въ виду, названная ранѣе фирма „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“ употребляетъ мягкія, сварныя стальныя трубы, и флянцы, прессованные изъ Сименсъ-Мартеновской стали; флянцы изъ стального литья менѣе надежны, такъ какъ болѣе хрупки и могутъ треснуть во время раскатки.

Какъ уже сказано, скрѣпленія трубы съ флянцемъ при помощи развальцовки весьма удобны и весьма распространены; они приняты, напр., и въ Нормахъ Лёвекина, приводимыхъ ниже, и выполняются и рекомендуются многими извѣстными заводами, напр., Берлинскими фирмами: „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“, „Franz Seiffert & Co. Actiengesellschaft“. Тѣмъ не менѣе, представители Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ (инженеръ Вестфаль въ статьѣ въ журналѣ Общества, 1904 годъ, № 17) защищаютъ особенно рекомендуемые Обществомъ свободные флянцы съ наварными буртиками, какъ на фиг. 1, 2, 3, 8 табл. 85 *Атласа*, увѣряя, что хорошую работу раскатки такъ же трудно произвести, какъ и хорошую работу приварки. Практика, повидимому, показываетъ, что развальцованные флянцы свободны отъ всѣхъ упрековъ, и такъ какъ по испытаніямъ въ лабораторіяхъ крѣпость соединенія ихъ съ трубой оказывается весьма значительна, то ихъ смѣло можно предпочесть соединеніямъ съ наварными заплечиками.

§ 83. За послѣдніе годы особенную важность пріобрѣли соединенія флянцами желѣзныхъ (и отчасти мѣдныхъ) трубъ для *паропроводовъ высокаго давленія*. Все повышающееся давленіе пара, дошедшее до 20 атм., создало такія требованія относительно прочности и герметичности соединеній трубъ, съ которыми ранѣе не приходилось имѣть дѣло. Вслѣдствіе этого постепенно были выработаны новые размѣры соединеній трубъ, при которыхъ удовлетворялась и прочность и герметичность.

Изъ такихъ „Нормъ“ получили распространеніе и заслуживаютъ особеннаго вниманія *двѣ* системы, именно:

1). Нормы Нѣмецкихъ Инженеровъ,

и

2). Нормы Американскаго инженера Лёвекина.

Нормы для соединеній паропроводныхъ трубъ высокаго давленія (до 20 атм.) выработаны Обществомъ Нѣмецкихъ Инженеровъ въ 1900 году и затѣмъ опубликованы для всеобщаго пользованія. Эти Нормы, и всѣ объясненія къ нимъ, полностію приведены на табл. 84, 85, 86 и 87 *Атласа*. Нормы составлены и для желѣзныхъ (стальныхъ) и для мѣдныхъ трубъ. Прибавлять къ приведенному въ *Атласѣ* болѣе нечего.

Таблица размѣровъ нормальныхъ флянцевъ по системѣ Лёвекинъ (для давленій отъ 100 до 300 фунтовъ на □ дюймъ).

Къ стр. 270.

Номинальный внутренній діаметръ трубы	Толщина стѣнки трубы δ, вычисленная по формулѣ $\delta = \frac{Dp}{10000} + \frac{1''}{8}$: По вычисленію	Округленная	Наружный діаметръ флянца B	Внутренній діаметръ флянца	Наружный діаметръ прокладки K	Ширина рабочей полоски въ долях толщины δ	Діаметръ флянца P	Ширина рабочей полоски	отношеніе ея къ δ	Высота выступа S, считаемая отъ рабочей плоскости	Толщина флянца O, считаемая отъ рабочей плоскости	отношеніе къ δ	Высота горла флянца H	отношеніе къ δ	отношеніе къ A	Наименьшій діаметръ горла F	Наибольшій діаметръ горла E	Толщина наружнаго края флянца L	Корень $= O - H - S$	Діаметръ круга черезъ центры болтовыхъ дыръ C	Число болтовъ	Діаметръ болтовъ (стальные)	Высота откладываемой части трубы R, считаемая отъ рабочей плоскости	отношеніе къ δ	Глубина вырѣзки во флянцѣ для откладки трубы подъ угломъ 20° M	Высота выступа возлѣ отложеннаго края U	Высота выступа во флянцѣ N	Радіусъ внутренняго закругленія V	Радіусъ внѣшняго закругленія W	Разрывающее трубу давленіе, въ фунтахъ на □ дюймъ, вычисленное въ предположеніи коэффиціента крѣпости трубы въ 50000 фунт. на □ дюймъ.	Нагрузка, въ фунтахъ, на каждый болтъ при разрывающемъ трубу давленіи	Напряженіе Z_1	Напряженіе Z_2	Напряженіе B_β на изгибъ флянца при разрывающемъ трубу давленіи
2	0,178	3/16	6 1/8	2 7/16	3 1/8	1,2	3 3/8	1/4	1,3	3/16	1 1/2	8,0	3/8	2,0	3,0	3 1/8	3 3/8	3/8	15/16	4 3/4	4	5/8	1/4	1,3	1/8	1/32	1/32	1/8	3/16	9375	9850	48600	4570	18500
2 1/2	0,191	3/16	6 3/8	2 15/16	3 3/8	1,2	4 1/8	1/4	1,3	3/16	1 9/16	8,3	7/16	2,3	3,5	3 5/8	3 7/8	3/8	15/16	5 1/4	6	5/8	1/4	1,3	1/8	1/32	1/32	1/8	3/16	7500	7430	36800	3620	18300
3	0,205	13/61	7 1/4	3 15/32	4 1/4	1,3	4 3/4	1/4	1,3	3/16	1 5/8	8,0	7/16	2,2	3,5	4 1/8	4 3/8	3/8	1	5 7/8	6	5/8	1/4	1,2	1/8	1/32	1/32	3/16	3/16	6770	9750	48300	4595	18900
3 1/2	0,218	7/32	7 7/8	4	4 7/8	1,3	5 3/8	1/4	1,14	3/16	1 11/16	7,7	1/2	2,3	4,0	4 3/4	5	7/16	1	6 1/2	8	5/8	5/16	1,4	9/64	1/32	1/32	3/16	1/4	6250	8920	44200	4700	18200
4	0,231	15/64	8 1/2	4 17/32	5 3/8	1,2	6	5/16	1,3	3/16	1 3/4	7,5	1/2	2,1	4,0	5 1/4	5 1/2	7/16	11/16	7 1/8	8	5/8	5/16	1,3	5/32	3/64	1/32	3/16	1/4	5850	10700	53000	5000	20500
4 1/2	0,244	1/4	9 1/2	5 1/16	6	1,37	6 3/8	5/16	1,3	3/16	1 13/16	7,25	1/2	2,0	4,0	5 7/8	6 1/8	1/2	1 1/8	7 7/8	8	3/4	5/16	1,3	5/32	3/64	1/32	3/16	1/4	5550	12600	41800	4370	20700
5	0,258	17/64	10 1/8	5 19/32	6 1/2	1,06	7 1/8	5/16	1,2	3/16	1 7/8	7,0	9/16	2,1	3,0	6 3/8	6 1/4	1/2	1 1/8	8 1/2	8	3/4	5/16	1,2	5/32	3/64	1/32	3/16	1/4	5310	15100	50000	4560	24700
5 1/2	0,270	17/64	10 3/4	6 3/32	7	1,06	7 5/8	5/16	1,2	3/16	1 15/16	7,3	5/8	2,3	3,3	7	7 3/8	1/2	1 1/8	9 1/8	8	3/4	5/16	1,2	5/32	3/64	3/64	3/16	1/4	4830	16400	54200	4710	24400
6	0,284	9/32	11 1/4	6 5/8	7 5/8	1,2	8 1/4	5/16	1,1	3/16	2	7,1	5/8	2,2	3,3	7 1/2	7 7/8	9/16	13/16	9 5/8	10	3/4	3/8	1,3	3/16	3/64	3/64	3/16	1/4	4687	15000	49500	4550	21400
6 1/2	0,297	19/64	11 7/8	7 5/32	8 1/8	1,0	8 3/4	5/16	1,05	3/16	2 1/16	6,9	11/16	2,3	3,7	8 1/8	8 1/2	9/16	13/16	10 1/4	10	3/4	3/8	1,3	3/16	3/64	3/64	1/4	3/8	4560	16900	56000	4875	22400
7	0,310	5/16	12 1/2	7 11/16	8 3/4	1,1	9 3/8	5/16	1,0	3/16	2 1/8	6,8	11/16	2,2	3,7	8 3/8	9	9/16	1 1/4	10 7/8	12	3/4	3/8	1,2	3/16	3/64	3/64	1/4	3/8	4465	15900	52600	4800	23500
7 1/2	0,324	21/64	13 1/2	8 7/32	9 3/8	1,14	10	5/16	0,95	3/16	2 3/16	6,6	11/16	2,1	3,7	9 1/4	9 5/8	9/16	15/16	11 5/8	12	7/8	7/16	1,3	13/64	3/64	3/64	1/4	3/8	4375	17800	42400	4025	23600
8	0,337	11/32	14	8 3/4	9 7/8	1,0	10 5/8	3/8	1,1	3/16	2 1/4	6,54	3/4	2,2	4,0	9 3/4	10 1/8	9/16	15/16	12 1/8	12	7/8	7/16	1,3	7/32	1/16	3/64	1/4	3/8	4297	20300	48400	3935	25600
8 1/2	0,350	23/64	14 3/8	9 9/32	10 1/2	1,08	11 1/4	3/8	1,04	3/16	2 3/8	6,6	13/16	2,2	4,3	10 3/8	10 3/4	9/16	1 3/8	12 3/4	12	7/8	7/16	1,2	7/32	1/16	3/64	1/4	3/8	4225	22300	53300	4550	24400
9	0,363	3/8	15 1/4	9 13/16	11 1/8	1,08	11 7/8	3/8	1,0	3/16	2 7/16	6,5	13/16	2,2	4,3	10 7/8	11 1/4	5/8	17/16	13 1/4	12	1	1/2	1,3	1/4	1/16	3/64	1/4	3/8	4167	24600	44900	3990	22500
9 1/2	0,377	3/8	15 7/8	10 5/16	11 5/8	1,08	12 3/8	3/8	1,0	1/4	2 1/2	6,6	13/16	2,2	4,3	11 1/2	11 7/8	5/8	17/16	13 7/8	12	1	1/2	1,3	1/4	1/16	3/64	1/4	3/8	3950	25900	47100	4175	23200
10	0,390	25/64	16 1/2	10 27/32	12 1/8	1,04	12 7/8	3/8	0,96	1/4	2 9/16	6,6	7/8	2,2	3,5	12	12 1/2	5/8	17/16	14 1/2	12	1	1/2	1,3	1/4	1/16	3/64	1/4	3/8	3910	28200	51300	4220	23500
10 1/2	0,403	13/32	17 1/8	11 3/8	12 3/4	1,08	13 1/2	3/8	0,923	1/4	2 5/8	6,5	7/8	2,1	3,5	12 5/8	13 1/8	5/8	1 1/2	15 1/8	14	1	1/2	1,2	1/4	1/16	3/64	1/4	3/8	3875	26300	48000	4240	23600
11	0,417	27/64	17 5/8	11 29/32	13 1/4	1,0	14 1/8	7/16	1,04	1/4	2 11/16	6,4	15/16	2,2	3,8	13 1/8	13 3/8	5/8	1 1/2	15 3/8	14	1	1/2	1,2	1/4	1/16	3/64	5/16	7/16	3840	28400	51800	4420	24600
11 1/2	0,430	7/16	18 1/4	12 7/16	13 7/8	1,0	14 3/4	7/16	1,0	1/4	2 13/16	6,4	1	2,3	4,0	13 3/4	14 1/4	5/8	1 9/16	16 1/4	16	1	9/16	1,3	17/64	1/16	3/64	5/16	7/16	3800	26800	48900	4320	23500
12	0,443	29/64	18 3/4	12 31/32	14 3/8	1,07	15 1/4	7/16	0,96	1/4	2 7/8	6,4	1	2,2	4,0	14 1/4	14 3/4	11/16	1 5/8	16 3/4	16	1	9/16	1,3	17/64	1/16	3/64	5/16	7/16	3780	29100	53000	4500	22000
13	0,470	15/32	20	14	15 1/2	1,0	16 3/8	7/16	0,93	1/4	3	6,4	1 1/16	2,3	4,2	15 3/8	15 7/8	11/16	1 11/16	18	18	1	9/16	1,2	17/64	1/16	3/64	5/16	7/16	3600	28800	52400	4600	22300
14	0,496	1/2	21 1/2	15 1/16	16 5/8	1,0	17 3/8	1/2	1,0	1/4	3 1/8	6,25	1 1/8	2,3	4,5	16 1/2	17	3/4	1 3/4	19 1/4	18	1 1/8	5/8	1,3	19/64	1/16	3/64	3/8	1/2	3570	33300	48100	4050	22900
15	0,523	17/32	22 3/4	16 1/8	17 3/4	1,0	18 3/4	1/2	0,94	1/4	3 1/4	6,1	13/16	2,2	3,8	17 3/8	18 1/4	3/4	1 13/16	20 1/2	18	1 1/8	5/8	1,2	19/64	1/16	3/64	3/8	1/2	3540	37100	53600	4460	23200
16	0,549	35/64	23 7/8	17 5/32	18 7/8	1,0	19 7/8	1/2	0,914	1/4	3 3/8	6,2	1 1/4	2,3	4	18 3/4	19 3/8	3/4	17/8	21 3/8	20	1 1/8	11/16	1,3	5/16	1/16	3/64	3/8	1/2	3420	37100	53500	4525	22400
17	0,576	37/64	25 1/2	18 7/32	20	1,0	21	1/2	0,86	1/4	3 1/2	6,0	15/16	2,3	4,2	19 7/8	20 1/2	7/8	1 15/16	23	20	1 1/4	11/16	1,2	5/16	1/16	3/64	1/2	5/8	3400	40900	45800	3930	23800
18	0,602	39/64	26 3/4	19 9/32	21 1/8	1,0	22 1/8	1/2	0,82	1/4	3 5/8	6,0	1 3/8	2,3	3,7	21	21 3/4	7/8	2	24 1/4	22	1 1/4	3/4	1,2	21/64	1/16	3/64	1/2	5/8	3384	42000	47000	3970	24600
19	0,629	5/8	27 7/8	20 3/16	22 1/4	1,0	23 1/4	1/2	0,8	1/4	3 3/4	6,0	17/16	2,3	3,8	22 1/8	22 7/8	7/8	2 1/16	25 3/8	22	1 1/4	3/4	1,2	21/64	1/16	3/64	1/2	5/8	3290	45200	50600	4395	23000
20	0,655	21/32	29	21 3/8	23 3/8	1,0	24 3/8	1/2	0,8	1/4	3 7/8	6,0	1 1/2	2,3	4,0	23 1/4	24	7/8	2 1/8	26 1/2	24	1 1/4	13/16	1,2	23/64	1/16	3/64	1/2	5/8	3280	45700	51200	4250	22800

Замѣчанія къ таблицѣ

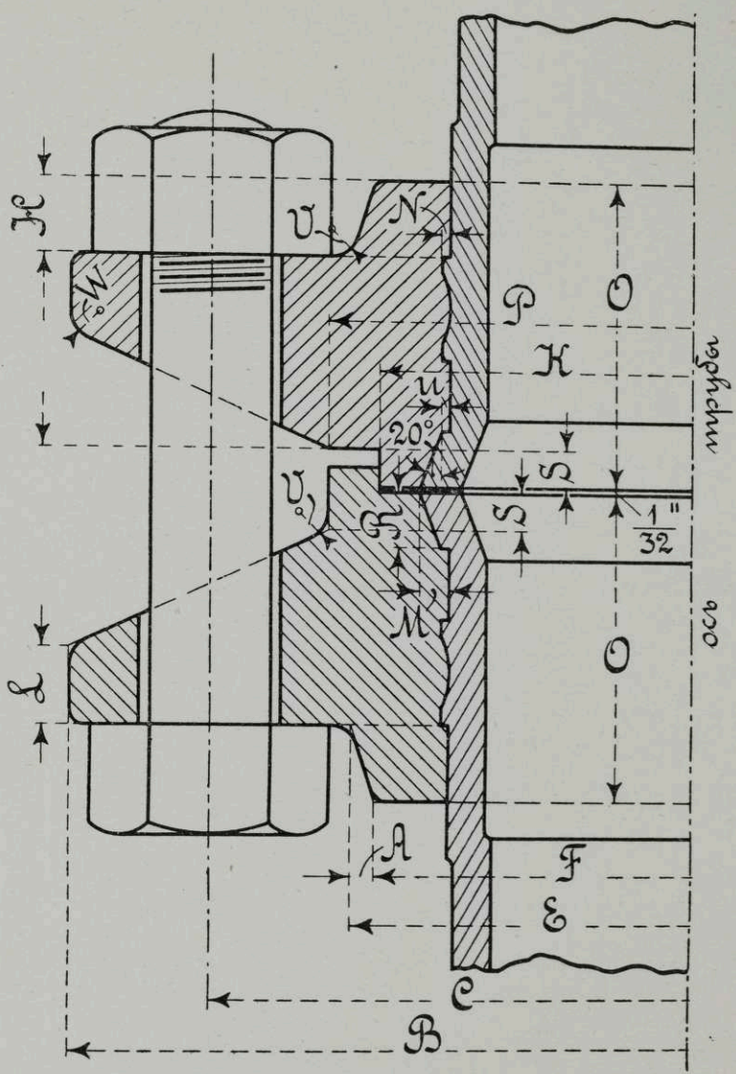
1). Для давленій меньше 175 фунтовъ на □ дюймъ можно обойтись безъ вточки одного флянца въ другой и дѣлать поверхности флянцевъ гладкими.
2). Подъ именемъ напряженія Z_1, въ третьемъ съ конца столбцѣ таблицы, понимается то напряженіе, которое будетъ въ рѣзьбѣ болтовъ при давленіи, разрывающемъ трубу, если давленіе это считать дѣйствующимъ на площадь круга съ діаметромъ, равнымъ внутреннему діаметру флянца.
3). Подъ именемъ напряженія Z_2 во второмъ съ конца столбцѣ таблицы понимается то напряженіе, которое должно быть въ рѣзьбѣ болта для того, чтобы на прокладку оказывалось давленіе, равное 1000 фунтовъ на □ дюймъ.
4). Подъ именемъ размѣра „корень“, который поставленъ на чертежѣ, но не обозначенъ буквой, понимается, какъ видно изъ чертежа, размѣръ, равный $O - H - S$.
5). Въ таблицѣ всѣ размѣры выражены въ Англійскихъ дюймахъ, а давленія и напряженія — въ Англійскихъ фунтахъ на □ Англійскій дюймъ.

Интересно сравнить эти Нѣмецкія Нормы съ данными инженера Лёвекина, которыя мы приводимъ здѣсь въ нижеслѣдующей таблицѣ (къ ней чер. 175). Нормы Лёвекина тоже составлены для давленій до 20 атм. Здѣсь принята, какъ нормальная конструкція, раскатка трубъ во флянцахъ, но тѣмъ не менѣе размѣры самихъ флянцевъ пригодны и для того случая, если труба будетъ скрѣпляться съ флянцемъ и иными способами, напр., при помощи приклепыванія, или приклепыванія въ соединеніи съ откладываніемъ закраинъ и пр. (подробности см. „Engineering News“, 1905 г., Дек. 7).

Подобно флянцамъ Нѣмецкихъ инженеровъ, Нормы Лёвекина точно также назначены и для желѣзныхъ (стальныхъ) и для мѣдныхъ трубъ. Матеріалъ флянцевъ въ томъ и другомъ случаѣ остается одинъ и тотъ же, именно желѣзо или сталь.

Прокладкой служитъ тонкое кольцо изъ красной мѣди.

Справедливо замѣчая, что въ большинствѣ опубликованныхъ докладовъ и работъ о нормальныхъ флянцевыхъ соединеніяхъ для высокаго давленія „гораздо болѣе говорится о томъ, что число болтовъ должно непремѣнно быть кратнымъ четырехъ“ * нежели о дѣйствительныхъ конструктивныхъ соображеніяхъ, нужныхъ для построенія дѣйствительно надежныхъ и герметичныхъ флянцевъ и возможно легкихъ, авторъ поставилъ себѣ задачей—сконструировать такую систему флянцевыхъ соединеній, при которой размѣры флянцевъ и болтовъ были бы настолько велики, чтобы *прочность флянцевъ и болтовъ по крайней мѣрѣ равнялась бы прочности трубы на разрывъ*. Въ этомъ отношеніи Нормы Лёвекина заслуживаютъ вниманія строителей трубопроводовъ высокаго давленія.



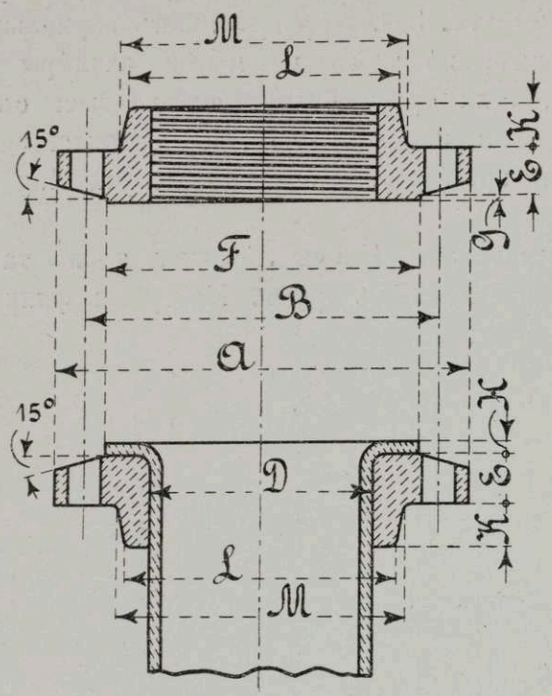
Чер. 175.

Для быстрой и аккуратной раскатки трубъ Лёвекинъ построилъ, спеціально для своей конструкціи флянцевъ, въ высшей степени интересную *машину*, которая производитъ работу раскатки и откладки быстро и точно. Эта машина описана подробно, съ *детальными* чертежами, въ журналѣ „Engineering“, за 1905 годъ, Мартъ 24. Рабочей частію, какъ и вездѣ, являются ролики; въ машинѣ масса остроумныхъ деталей, за подробнымъ описаніемъ которыхъ отсылаемъ интересующихся къ названному журналу.

---

* хотя весьма часто въ обычныхъ типахъ соединеній діаметръ и число болтовъ (такъ же, какъ и размѣры самихъ флянцевъ) оказывались недостаточными и приходилось помѣщать добавочные болты между болтами „кратными четырехъ“ (замѣчаніе Лёвекина).

Въ то время, какъ трубы, раскатанныя во флянцахъ прежнимъ, ручнымъ способомъ, выдерживали на пробахъ давленіе отъ 1000 до 2000 фунтовъ на □ дюймъ, трубы, раскатанныя по системѣ и на машинѣ Лёвекина, выдерживаютъ безъ разрушенія соединенія давленіе до 5600 фунтовъ на □ дюймъ, т. е. *до 390 атмосферъ*.



Чер. 176.

Не безинтересными представляются также размѣры флянцевыхъ соединеній для паропроводовъ высокаго давленія на центральной электрической станціи „The New Waterside Station of the New Iork Edison Co.“, въ Нью-Іоркѣ. Таблица размѣровъ этихъ соединеній (чер. 176) приведена здѣсь. Соединенія назначены для пара съ давленіемъ въ 200 фунтовъ, перегрѣтаго на 55 — 80° Цельзія; размѣры соединеній весьма солидны. Флянцы — прокатные изъ стали, прокладки — изъ листовой стали. Внутреннія части флянцевъ скошены для того, чтобы облегчить осмотръ соединенія.

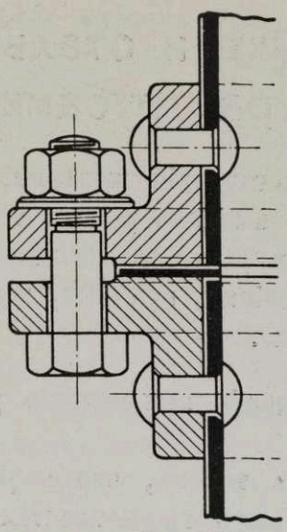
Таблица соединеній флянцами трубъ станціи „Waterside Station“.

(Всѣ размѣры въ Англійскихъ дюймахъ).

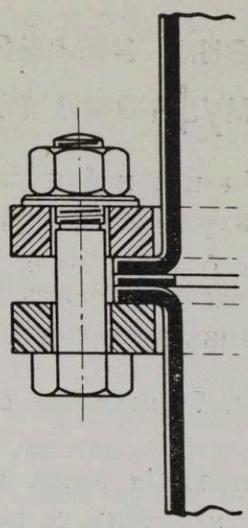
Номинальный діаметръ трубы . .	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	6	8	10	12	14
Діаметръ флянца *A*	7 1/2	8 1/4		10		11	12 1/2	15	17 1/2	20	22 1/2
Діаметръ центровъ болтовъ *B* . .	5 7/8	6 3/8		8		9 1/4	10 3/8	13	15 1/4	17 3/4	20
Число болтовъ	6	8		8		8	12	12	12	16	16
Діаметръ дыръ для болтовъ . . .	7/8	7/8		7/8		1	1	1 1/8	1 1/4	1 1/4	1 3/8
Діаметръ болтовъ	3/4	3/4		3/4		7/8	7/8	1	1 1/8	1 1/8	1 1/4
Толщина флянца *E*	1	1 1/8		1 1/4		1 3/8	1 1/2	1 3/4	1 7/8	2 1/8	2 5/16
Діаметръ рабочей плоскости *F* . .	4 7/8	5 5/8		7		8 1/8	9 1/2	11 3/4	13 7/8	16 3/8	18 1/2
Высота ея *G*	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8			
Толщина закраины *H*						1/4	1/4	5/16	3/8	3/8	3/8
Длина горла или втулки флянца *K*	3/4	7/8		1							
Бо́льшій діаметръ горла *M*	4 1/8	4 7/8		6 1/4		7 1/4	8 1/2	10 3/4	12 7/8	15 3/4	17 15/16
Меньшій діаметръ горла *L*	3 7/8	4 5/8		6		7	8 1/8	10 3/8	12 3/8	15 1/4	17 7/16
Наружный діаметръ трубы *D* . .						5,563	6,625	8,625	10,75	12,75	15

§ 84. Приведемъ еще нѣкоторыя подробности о соединеніяхъ флянцами.

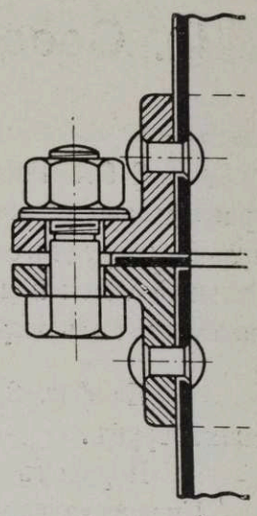
На чер. 177—182 представлены соединенія спирально-сваренныхъ трубъ. При давленіяхъ до 1 атм. соединеніе производится при помощи приклепанныхъ чугунныхъ флянцевъ, чер. 177; при давленіяхъ до 2 атм. употребляются вольные желѣзные флянцы, чер. 178; при давленіяхъ до 4 атм. — приклепанные флянцы изъ углового желѣза, чер. 179; для трубъ съ внѣшнимъ діаметромъ отъ 157 до 416 mm, при всякомъ давленіи, примѣняются вольные флянцы, цѣпляющіеся за буртики, припаянные мѣдью, чер. 180; одинъ буртикъ вточенъ при этомъ въ другой; иногда же примѣняются гладкіе буртики, и въ такомъ случаѣ соединеніе подгоняется подъ нормы для чугунныхъ трубъ, чер. 181; для трубъ съ внѣшнимъ діаметромъ отъ 422 до 467 mm и для произвольнаго давленія примѣняются гладкіе приклепанные желѣзные буртики и вольные флянцы, чер. 182, подходящіе и для чугунныхъ трубъ.



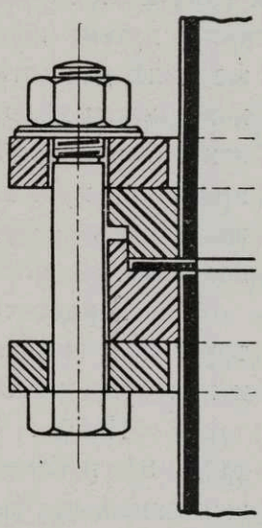
Чер. 177.



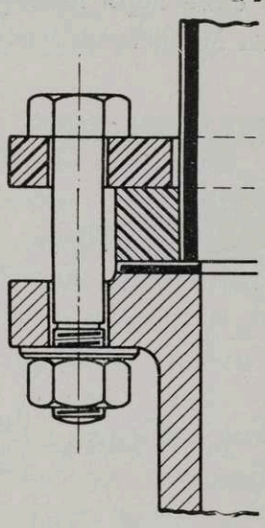
Чер. 178.



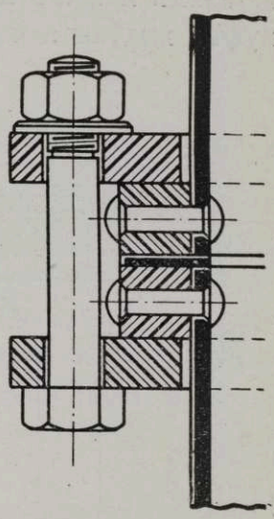
Чер. 179.



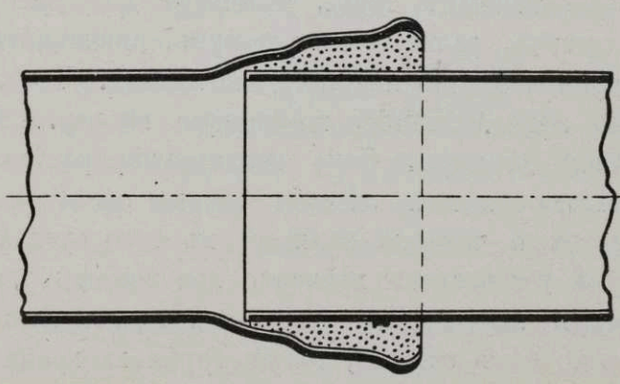
Чер. 180.



Чер. 181.



Чер. 182.



Чер. 183.

При давленіяхъ не свыше 5 атм. такія трубы соединяются также и раструбами, чер. 183.

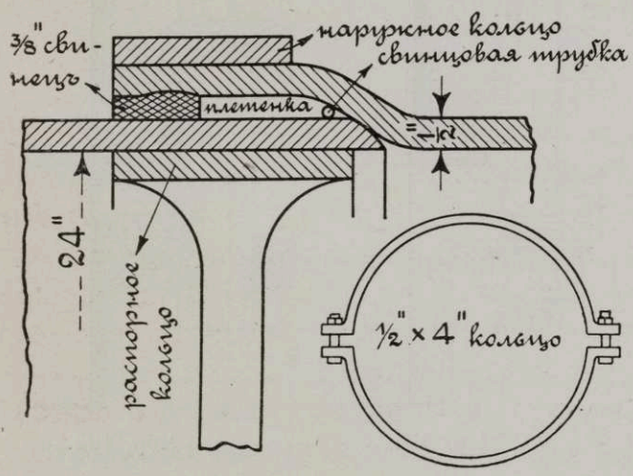
Соединенія по способу Дрессера, описанныя на стр. 161 въ примѣненіи къ чугуннымъ трубамъ, примѣняются также и при желѣзныхъ трубахъ. Подробности можно найти въ указанномъ ранѣе каталогѣ фирмы.

II). Соединенія желѣзныхъ и стальныхъ трубъ муфтами или раструбами.

§ 85. Раструбы или муфты для соединенія желѣзныхъ трубъ примѣняются сравнительно рѣдко, вопервыхъ, потому, что выдѣлка раструба на желѣзной трубѣ довольно затруднительна, а вовторыхъ, потому, что желѣзныя трубы примѣняются по большей части при довольно высокихъ давленіяхъ, при которыхъ раструбное соединеніе рискуетъ быть вырваннымъ продольною силою.

На фиг. 3 табл. 76 показано соединеніе при помощи раструба Маннесмановскихъ трубъ.

Порядокъ изготовленія этихъ трубъ таковъ, что сперва трубы изготовляются на „Пильгервальценъ“, а затѣмъ на концѣ ихъ выдѣлывается раструбъ при помощи обыкновенной штамповки въ формѣ. Между тѣмъ, почти во всѣхъ сочиненіяхъ по деталямъ машинъ и до сихъ поръ повторяется одна и та же сказка, именно, что такія муфты выдѣлываются на Маннесмановскомъ станкѣ, путемъ косой прокатки. На самомъ же дѣлѣ давнымъ давно оказалось невозможнымъ выдѣлывать такія мелкія измѣненія формы трубъ на станкѣ для косой прокатки, и, какъ уже сказано ранѣе, на такомъ станкѣ получаются только болванки.



Чер. 184.

Герметичность соединенія такихъ трубъ получается обычнымъ путемъ, какъ и при чугунныхъ трубахъ.

На фиг. 2 табл. 77 и на фиг. 3 табл. 81 показаны соединенія муфтами желѣзныхъ трубъ большого діаметра; недостатокъ этой конструкціи состоитъ въ томъ, что при изготовленіи раструба матеріалъ слишкомъ вытягивается и утоняется въ мѣстѣ **A** (фиг. 3, табл. 81), а именно здѣсь, на наибольшемъ діаметрѣ, менѣе всего желательно ослабленіе стѣнки, вызываемое такимъ уменьшеніемъ толщины ея. Кромѣ того, вообще неудобствомъ раструбнаго соединенія тонкостѣнныхъ трубъ большого діаметра является то обстоятельство, что чеканка свинца, залитаго въ раструбъ, причиняетъ замѣтныя искаженія трубъ, такъ какъ раструбъ и задокъ недостаточно жестки. Чтобы помочь этому горю, недавно сконструировано приспособленіе, показанное на чер. 184, и назначенное для сварныхъ трубъ большого діаметра. Сама конструкція раструба не представляетъ ничего особеннаго; новымъ является способъ сборки соединенія. Именно, во время забивки раструба плетенкой и чеканки залитаго въ него свинца, здѣсь задокъ одной трубы и раструбъ другой усиливаются временно при помощи р а с ш и р и т е л я, вставленнаго внутрь трубы, и наружнаго кольца, охватывающаго раструбъ. Оба эти приспособленія усиливаютъ, такъ сказать, тонкія трубы на время сказанныхъ операцій и придаютъ имъ временную жесткость, которой онѣ сами по себѣ не имѣютъ. Если діаметръ трубы не менѣе 500 mm, то возможно расчеканить трубу извнутри, въ особенности если она изъ мягкой стали. Для полученія хорошей чеканки, а также и для того, чтобы воспрепятствовать плетенкѣ вылѣзать внутрь трубы, полезно помѣщать въ глубину раструба сварное кольцо изъ маленькой свинцовой трубочки.

На фиг. 13 табл. 78 показано быстроразбирающееся Американское соединеніе желѣзныхъ трубъ при помощи двойной чугунной муфты; для того, чтобы трубы не рас-

ходились, у каждой трубы имѣется *зубъ* или *штифтъ*, входящій, при повертываніи трубы, въ соотвѣтствующія выемки на муфтѣ. Муфта законопачивается и заливается свинцомъ или ржавой замазкой, обычнымъ порядкомъ.

На фиг. 21 — 23 и 13 — 17 табл. 81 видны раструбныя соединенія стальныхъ трубъ, образованныхъ изъ листовъ не посредствомъ клепки, а при помощи зажимныхъ брусковъ по способу Мефана Фергюсона. На фиг. 19 той же таблицы также видна часть такой соединительной муфты.

Отъ обыкновенной муфты съ двумя раструбами муфта для этихъ трубъ отличается только тѣмъ, что въ ней имѣются двѣ выемки или канавки, куда прячется продольный брусокъ, соединяющій листы, образующіе трубу (см. ранѣе, на стр. 243).

На фиг. 13—17 показано образованіе поворотовъ такихъ трубъ. Какъ видно, отклоненіе оси трубопровода даже на довольно значительный уголъ ($22^1/_2{}^0$) достигается при помощи особыхъ чугунныхъ фасонныхъ угловыхъ частей, оканчивающихся на обоихъ концахъ раструбами, куда и вставляются концы обѣихъ соединяемыхъ трубъ. Детально раструбъ изображенъ на фиг. 17. Всѣ эти раструбы законопачиваются и заливаются свинцомъ совершенно такъ же, какъ и при чугунныхъ трубахъ.

III). Соединенія муфтами на рѣзьбѣ.

§ 86. Въ обычномъ своемъ видѣ соединеніе это изображено на табл. 78 *Атласа*, фиг. 6. Въ такомъ видѣ соединеніе извѣстно большинству инженеровъ и техниковъ и въ такомъ видѣ оно выполнено въ практикѣ безчисленное множество разъ. И тѣмъ не менѣе, въ такомъ видѣ соединеніе это *никуда не годится* и удачную работу его, наблюдающуюся во многихъ случаяхъ, надобно приписать или особенно благопріятнымъ условіямъ (незначительное давленіе) или же случайностямъ (удачно подобравшаяся рѣзьба трубы и муфты, ржавленіе и пр.). Но, по сущности своей соединеніе это **неправильное въ принципѣ и не можетъ быть герметичнымъ.**

Въ самомъ дѣлѣ, разберемъ подробнѣе, въ чемъ состоитъ такое соединеніе обычнаго типа, подобное изображенному на фиг. 6 табл. 78. На концахъ двухъ соединяемыхъ трубъ дѣлается рѣзьба, нарѣзаемая при помощи какого бы то ни было орудія, соотвѣтствующаго плашкѣ и имѣющаго профиля рѣзьбы винта; внутри же муфты нанарѣзаются двѣ нарѣзки, имѣющія профиль нарѣзки гайки. Затѣмъ, при сборкѣ, муфта навинчивается на концы трубъ, причемъ рѣзьбу обыкновенно смазываютъ сурикомъ, а иногда и подматываютъ ниточкой—и соединеніе готово. Ясно само собою, что при такомъ способѣ сборки винтовое скрѣпленіе винта (т. е. каждой трубы) и гайки (т. е. каждой половины муфты) надо разсматривать какъ *незатянутое*, ибо гайка просто навинчивается на винтъ, но ни во что не упирается своимъ торцемъ, слѣд., остается незатянутою, и сила, съ которою ея нарѣзки прижаты къ рѣзьбѣ винта (трубы) обусловлена чисто случайными обстоятельствами и, главнымъ образомъ, той разницей, которая, совершенно случайно, въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, существуетъ между профилемъ рѣзьбы у плашки (или инструмента ее замѣнявшаго), которою рѣзался винтъ и у метчика, которымъ рѣзалась гайка (муфта). Въ зависимости отъ этого и отъ тщательности работы рѣзанія и разныхъ другихъ мелкихъ причинъ, при навертываніи муфты на трубы можетъ получиться нѣкоторое, довольно слабое вообще, нажатіе одной рѣзьбы на другую, благодаря чему, въ соединеніи съ благодѣтельною помощію сурика и нитки (а иногда и болѣе сильныхъ средствъ, напр., ржавчины, вызываемой искусственно, подчеканки и т. п.) получается *нѣкоторое подобіе* герметичности, которое, однако, можетъ обманывать людей лишь при слабыхъ давленіяхъ; для высокихъ же давленій соединеніе считалось и считается „непригоднымъ“, хотя въ теченіи многихъ десятковъ лѣтъ никто не давалъ себѣ труда поразмыслить, — „а почему собственно соединеніе это не пригодно для порядочныхъ давленій?“

Какъ уже сказано, соединеніе въ такомъ видѣ не годится, собственно, не только для высокихъ, но вообще ни для какихъ давленій и работаетъ хорошо только случайно, какъ уже сказано выше. Существованіе въ трубопроводѣ продольной силы, напр., благодаря завороту его на прямой уголъ и пр., тоже способствуетъ герметичности. Но для того, чтобы соединеніе само по себѣ, такъ сказать, *принципіально*, было бы герметично, необходимо, чтобы въ каждой половинкѣ муфты винтовое скрѣпленіе муфты и трубы было бы затянутымъ, а для достиженія этого необходимо имѣть возможность гайку такъ или иначе *затянуть*, т. е. прижать рѣзьбу ея къ рѣзьбѣ винта вполнѣ надежно заранѣе, еще при сборкѣ соединенія, и надобно, чтобы затяжка эта поддерживалась все время. А для того, чтобы всякую гайку можно было бы затянуть, необходимо ее во что нибудь упереть, стало быть соединеніе, принятое теперь, надобно измѣнить, и именно усложнить, введя въ него лишняя часть—упоръ для гайки или упоръ для винта.

Только сравнительно недавно положеніе это было понято и появились конструкціи, въ которыхъ все соединеніе устроено вполнѣ сознательно и разумно, и нажатіе рѣзьбы гайки на рѣзьбу винта напередъ обезпечивается спеціально устроеннымъ *упоромъ*. Примѣры такихъ новыхъ соединеній, которыя назначены конструкторами ихъ для „*высокихъ*“ давленій (ихъ слѣдуетъ принять для всѣхъ давленій) имѣются въ Атласѣ.

На табл. 88 фиг. 14 изображено соединеніе, гдѣ нажатіе рѣзьбы незатянутой гайки (муфты) къ винту (трубѣ) достигается благодаря контръ-гайкамъ, которыя навертываются на каждую изъ соединяемыхъ трубъ и по возможности крѣпко затягиваются. Вслѣдствіе такой затяжки контръ-гаекъ рѣзьба трубы будетъ прижата къ рѣзьбѣ муфты, ибо контръ-гайка стремится вытащить трубу изъ муфты наружу. Для достиженія герметичности, ввиду ненадежности контръ-гайки, какъ затягивающаго средства, въ торцевыхъ сторонахъ контръ-гаекъ, обращенныхъ къ торцамъ муфты, сдѣланы небольшія углубленія или выточки и въ нихъ положена какая нибудь мягкая набивка.

На фиг. 11 и 13 той же таблицы видимъ одинаковыя по идеѣ конструкціи; именно, здѣсь на одной трубѣ *непремѣнно* сдѣлана рѣзьба *лѣвая*, а на другой—*правая*, и соотвѣтственно этому нарѣзана и гайка; при вращеніи гайки относительно обѣихъ трубъ трубы стягиваются и, наконецъ, обѣ соединяемыя трубы упираются взаимно одна въ другую и, за счетъ ихъ упругой или остающейся деформаціи, гайки, т. е. муфта, могутъ быть сильно затянуты. Кромѣ того, прижатіе торцевъ трубъ другъ къ другу весьма сильно повышаетъ герметичность.

На фиг. 9—10 табл. 89 представленъ другой варіантъ этой конструкціи, выдерживающій давленіе въ 170 атмосферъ, о которомъ не смѣли и мечтать прежнія простыя соединенія незатянутыми муфтами. Здѣсь затяжка муфты и прижатіе рѣзьбъ ея къ рѣзьбамъ трубъ тоже достигаются при помощи контръ-гаекъ, но для усиленія герметичности торцы трубъ прижаты одинъ къ другому, а кромѣ того, на случай, если бы жидкость пробралась и между торцами и сквозь затянутую рѣзьбу (потерявъ, конечно при этомъ часть своего давленія), концы муфты заточены по коническимъ поверхностямъ, а въ контръ-гайкахъ сдѣланы соотвѣтственныя выточки. Такимъ образомъ, при затягиваніи контръ-гаекъ, въ мѣстахъ прижатія ихъ къ оконечностямъ муфтъ, на прижатыхъ коническихъ поверхностяхъ получится сила нажатія, бо́льшая противъ силы затяжки контръ-гайки, и тѣмъ бо́льшая, чѣмъ меньше уголъ раскрытія конуса. Слѣд. и въ этомъ третьемъ мѣстѣ жидкость должна потерять очень много давленія, чтобы пробраться сквозь него и какъ сказано, она не можетъ пробраться сквозь соединеніе даже при давленіи въ 170 атмосферъ.

На фиг. 13 табл. 88 между торцами двухъ трубъ положена мягкая прокладка, для еще большаго усиленія непроницаемости. На фиг. 11 той же таблицы для усиленія герметичности торцы трубъ прижаты одинъ къ другому не плоскими кольцевыми поверхностями, а одинъ торецъ заточенъ плоскимъ, другой же сдѣланъ въ видѣ кольцевого

ножа, заточенъ по двумъ конусамъ; понятно, что на весьма малой площади соприкосновенія этого ножа съ плоскостію другого торца разовьется огромное напряженіе на смятіе, которое далеко превзойдетъ предѣлъ упругости и ножъ врѣжется въ торецъ и дастъ вполнѣ герметичное соединеніе даже и при очень большихъ давленіяхъ. На фиг. 5 табл. 89 показано такое соединеніе трубъ въ исполненіи С.-Петербургскаго Металлическаго Завода, дающее полную герметичность при давленіи въ 35 атмосферъ. Оно отличается отъ описаннаго сейчасъ только тѣмъ, что торцы трубъ упираются одинъ въ другой не непосредственно, а между ними еще вставлено кольцо изъ красной мѣди и въ него упираются торцы обѣихъ трубъ, каждый изъ которыхъ заточенъ круглымъ ножемъ. Въ мягкую мѣдь ножи врѣзываются еще сильнѣе чѣмъ въ желѣзо, что способствуетъ, конечно, обезпеченію герметичности.

На фиг. 12 табл. 88 показано видоизмѣненіе конструкціи, имѣющейся на фиг. 11 той же таблицы. Именно, одна изъ трубъ впаяна въ муфту, такъ что здѣсь герметичность вполнѣ обезпечена; другая же труба, для возможности сборки, должна быть ввернута на рѣзьбѣ. Соединеніе назначено для не особенно большихъ давленій и потому торецъ ввертываемой трубы не заточенъ ножемъ, а сдѣланъ плоскимъ; понятно, что, благодаря спайкѣ, вѣроятность течи такой трубы вдвое меньше, нежели въ томъ случаѣ, когда обѣ трубы ввертныя.

Надобно сказать, что есть и другое средство для достиженія герметичности муфты и трубъ, и средство это извѣстно и примѣняется уже нѣсколько десятковъ лѣтъ. Средство это состоитъ въ устройствѣ на трубахъ и въ муфтѣ *конической* нарѣзки, по Американскому способу. Сущность конструкціи показана въ *Атласѣ* на табл. 76, фиг. 1—2 и 4—5. При ввинчиваніи такой наконусъ нарѣзанной трубы въ нарѣзанную подобнымъ же образомъ муфту будетъ происходить насильственное зажатіе нарѣзки, и получится подобіе затяжки; насколько при этомъ страдаетъ рѣзьба—объ этомъ вопросѣ въ литературѣ умалчиваютъ. Для изготовленія такой конической да при томъ еще сходящей нанѣтъ рѣзьбы нужны спеціальныя машины и приспособленія.

Описанныя передъ этимъ системы соединенія съ затяжкой, вызываемой упоромъ концовъ трубы или контръ-гайками, слѣдуетъ признать болѣе конструктивнымъ и надежнымъ средствомъ.

Нарѣзаніе рѣзьбы на трубахъ для соединенія ихъ навертными муфтами является однимъ изъ тѣхъ немногихъ случаевъ, гдѣ выступаетъ на сцену разница между физическими свойствами сварочнаго желѣза и мягкой стали; именно, сталь гораздо крѣпче и болѣе сопротивляется рѣзанію; поэтому тѣ приспособленія и усилія, которыя какъ разъ достаточны для нарѣзанія желѣзныхъ трубъ, оказываются слабыми для трубъ стальныхъ. Это и обнаружилось въ практикѣ, когда совершался переходъ отъ прежнихъ, желѣзныхъ трубъ къ новымъ, стальнымъ.

Поэтому, если мы для стальной трубы употребимъ тѣ инструменты, которые расчитаны на трубу желѣзную, то они будутъ слабы, рѣзцы будутъ драть а не рѣзать, рѣзьба получится не чистая, и это служитъ лишнею причиной течи соединенія. Такимъ образомъ, для нарѣзки стальныхъ трубъ необходимо имѣть особые, болѣе сильные клуппы и подходящіе, болѣе острые, рѣзцы, съ рѣжущимъ угломъ около 75° *.

Въ Америкѣ принята для соединеній трубъ на рѣзьбѣ системы газовой рѣзьбы, приведенная на табл. 76 *Атласа;* въ Европѣ наибольшимъ распространеніемъ поль-

---

* Разница между физическими свойствами желѣза и стали, употребляемыхъ, напр., для сварныхъ желѣзныхъ трубъ, видна изъ слѣдующихъ сравнительныхъ цифръ:

	Сталь.	*Желѣзо.*
Коэффиціентъ крѣпости	58000 фунт./□дюймъ	46000 фунт./□дюймъ
Предѣлъ упругости	34000	28000 „
Удлиненіе на длинѣ 8 дюймовъ . .	22%	22%
Сокращеніе площади поперечнаго сѣченія	55%	25%

зуется газовая рѣзьба Витворта, приведенная на табл. 90 *Атласа*, а многими инженерами эта система рекомендуется предпочтительно передъ Американскою и ея подражаніями (рѣзьба Рело, табл. 76), какъ болѣе герметичная и менѣе ослабляющая трубу.

Нѣкоторыя данныя относительно затраты работы при нарѣзаніи трубъ приведены въ журналѣ „Engineering News“, 1906 г., January 25.

Соединенія муфтами на рѣзьбѣ, благодаря своей простотѣ, пользуются весьма большимъ распространеніемъ для соединенія трубъ небольшого діаметра и при умѣренныхъ давленіяхъ. Изъ различныхъ конструкцій этихъ соединеній заслуживаетъ вниманія система нормальныхъ муфтъ изъ *ковкаго чугуна*, выработанная въ Америкѣ въ 1901 году. Детальные размѣры муфтъ приведены на табл. 115 *Атласа*, а еще бо́льшія подробности можно найти въ оригиналѣ, въ журналѣ „Transactions of the American Society of Mechanical Engineers“, Vol. XXIII.

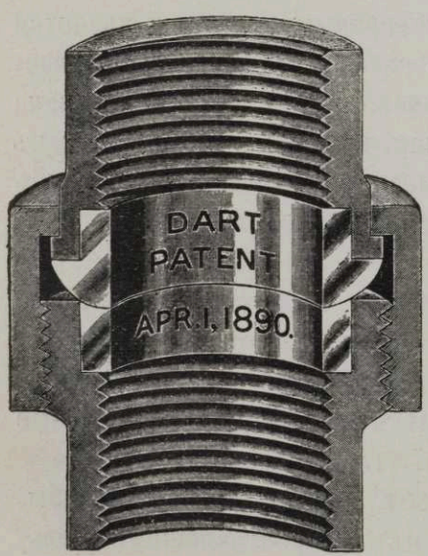
Изъ инструментовъ, играющихъ роль при сборкѣ соединеній муфтами на рѣзьбѣ, слѣдуетъ упомянуть ключъ для трубъ, посредствомъ котораго гладкія трубы можно захватывать и ввертывать въ муфты, или придерживать во время вращенія муфты. Такихъ ключей весьма много системъ, но почти вездѣ главную роль играетъ особая *цѣпь*, которая охватываетъ трубы и закрѣпляется въ длинной ручкѣ имѣющей острые зубья, упирающіеся въ трубу.

IV). Различныя спеціальныя соединенія желѣзныхъ трубъ.

§ 87. Большинство изображенныхъ въ *Атласѣ* соединеній описаны тамъ же достаточно подробно; здѣсь придется прибавить немногое.

Быстроразбирающееся соединеніе небольшихъ трубъ показано на фиг. 9 — 12 табл. 78.

Примѣромъ сравнительно рѣдко теперь встрѣчающагося соединенія съ конической приточкой можетъ служить фиг. 13—14, табл. 79.



Чер. 185.

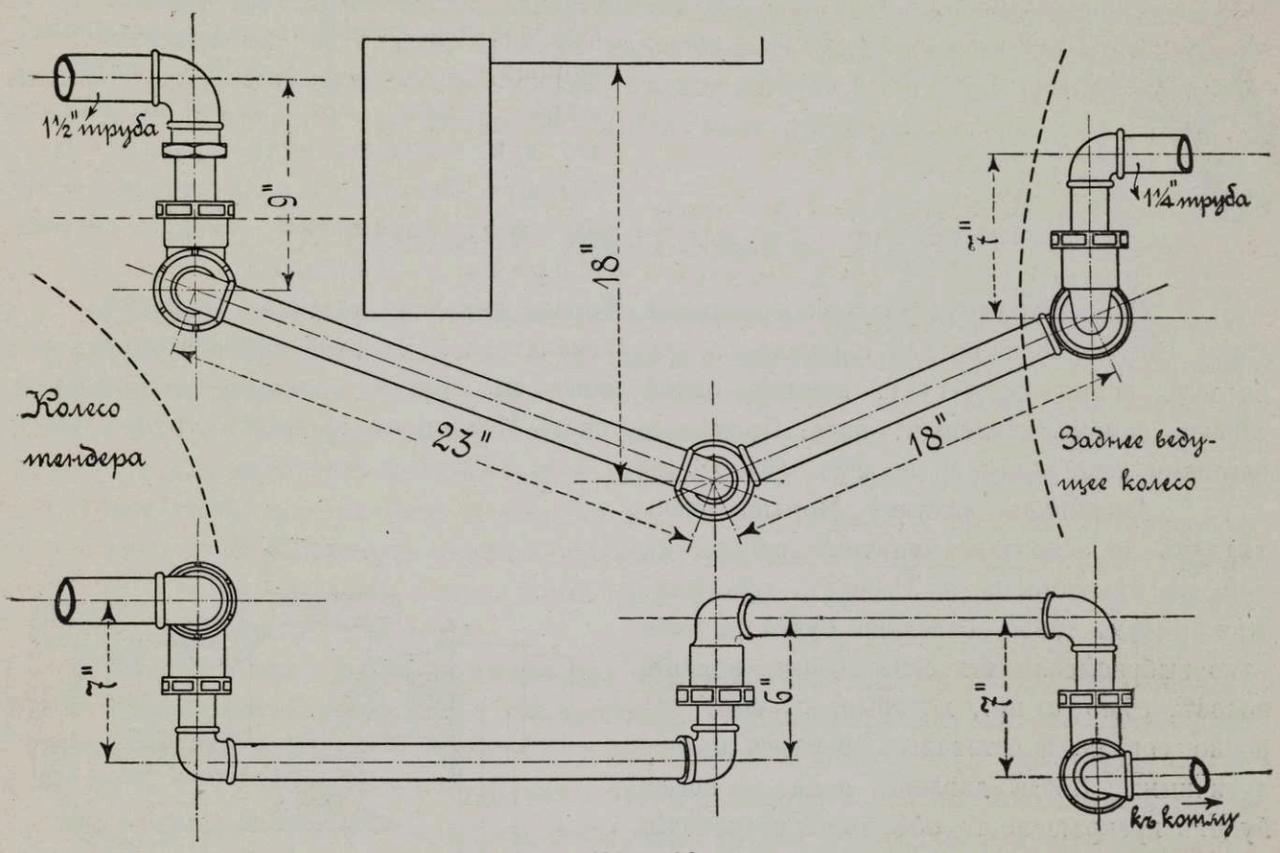
Относительно соединеній, показанныхъ на фиг. 3—4, табл. 98, необходимо добавить слѣдующее. Полоска свинца, обернутая вокругъ мѣста соединенія двухъ трубъ, имѣетъ въ толщину около 3mm или болѣе; она охватывается стальнымъ кольцомъ, которое въ одномъ мѣстѣ разрѣзано по діаметральной плоскости и обыкновенно готовится изъ прокатной полосы. Это кольцо стискивается наружной муфтой, которая бываетъ стальной сварной или же чугунной. Муфта эта нагоняется при помощи спеціальныхъ домкратовъ, и такой способъ соединенія можетъ быть примѣняемъ къ трубамъ, опущеннымъ въ канавы. Чеканки никакой не требуется. Разобрать соединеніе можно безъ труда сбивши молоткомъ наружное кольцо прочь.

На чер. 185 изображено спеціальное соединеніе по системѣ *Дартъ*, очень распространенное въ Америкѣ. Это соединеніе примѣняется преимущественно при желѣзныхъ трубахъ небольшого діаметра, служащихъ для проводки пара, газа, воды, воздуха, нефти и пр. Оно очень распространено на паровозахъ. Навертываемыя на концы трубъ муфты и стяжная гайка сдѣланы изъ ковкаго чугуна, и въ нихъ вставлены прикасающіяся другъ къ другу оконечности, сдѣланныя изъ бронзы; поверхность прикосновенія—сферическая, что̀ даетъ соединенію нѣкоторую подвижность.

Подобныхъ соединеній въ Америкѣ имѣется нѣсколько системъ, сходныхъ другъ съ другомъ.

Изъ спеціальныхъ соединеній желѣзныхъ и стальныхъ трубъ особеннаго вниманія заслуживаютъ удобоподвижныя соединенія. О такихъ соединеніяхъ для большихъ водопроводныхъ трубъ было говорено ранѣе; здѣсь поговоримъ о соединеніяхъ трубъ небольшого діаметра, встрѣчающихся, какъ было указано ранѣе, преимущественно у паровозовъ и вагоновъ, именно при проводкѣ между вагонами или между паровозомъ и тендеромъ пара, воды, сжатаго воздуха и нефти. Кромѣ того, подобныя устройства требуются въ компаундъ-паровозахъ системы Маллета.

Проводка всѣхъ названныхъ жидкостей между вагонами и паровозами можетъ производиться или посредствомъ гибкихъ трубъ („рукавовъ“), которыя сами по себѣ способны давать достаточную подвижность, или посредствомъ жесткихъ желѣзныхъ и стальныхъ трубъ, которыя нельзя прямо соединить между собою жестко. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ обыкновенно рѣшаютъ задачу такимъ образомъ, что изъ нѣсколькихъ



Чер. 186.

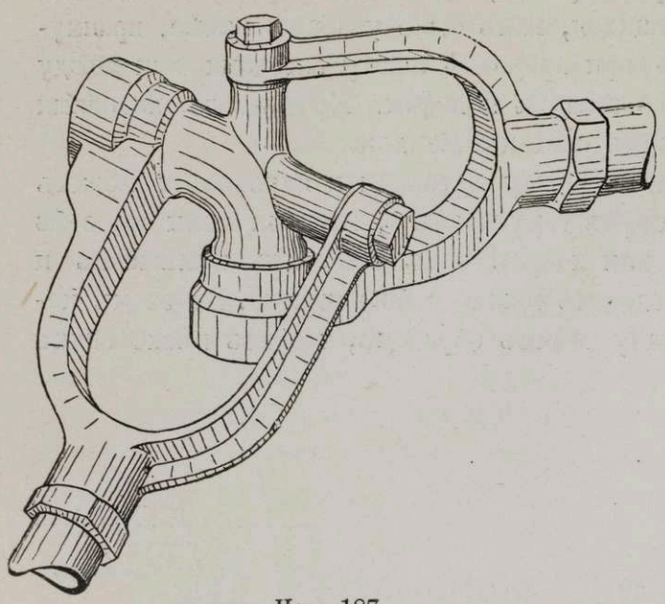
кусковъ трубъ образуютъ между паровозомъ и тендеромъ (или между двумя вагонами) цѣпь, причемъ каждый кусокъ трубы является звѣномъ этой цѣпи; соединяются же между собой эти звѣнья обыкновенно посредствомъ шаровыхъ сочлененій той или иной конструкціи, и тогда въ цѣломъ такая система способна слѣдовать за всевозможными относительными перемѣщеніями двухъ экипажей подвижного состава.

Разсмотримъ сперва нѣсколько примѣровъ проводки трубъ между вагонами, или паровозомъ и вагонами.

На чер. 186 показана Американская конструкція McLaughlin для проводки пара изъ паровоза къ тендеру. Здѣсь подвижность вокругъ точки (шаровое сочлененіе) получена путемъ помѣщенія въ каждомъ такомъ мѣстѣ двухъ паръ вращенія съ взаимно перпендикулярными осями, т. е. здѣсь устроено колѣно, съ заворотомъ на прямой уголъ, и возможно вращеніе трубъ относительно колѣна какъ вокругъ одной, такъ и вокругъ другой оси. Самое колѣно съ двумя сальниками детально показано въ *Атласѣ* на фиг. 20 табл. 119.

Подобнымъ же образомъ, съ двумя цилиндрическими парами вращенія въ замѣну шарового сочлененія, устроено и Американское соединеніе по сист. Street, въ Чикаго.

Въ высшей степени оригинально съ конструктивной точки зрѣнія шаровое сочлененіе по сист. Гампсона, въ Бостонѣ. Здѣсь въ систему трубъ вводится шарниръ Гука, въ своемъ обычномъ, „школьномъ“ видѣ, съ двумя вилками и крестомъ между ними, чер. 187 и 188. Но только этотъ шарниръ Гука сдѣланъ внутри пустотѣлымъ и по немъ проводится внутри жидкость, какъ ясно видно изъ чертежей. Полой дѣлается у каждой вилки лишь одна половина, и точно такъ же дѣлается и въ крестѣ. Вилки и крестъ дѣлаются изъ ковкаго чугуна.



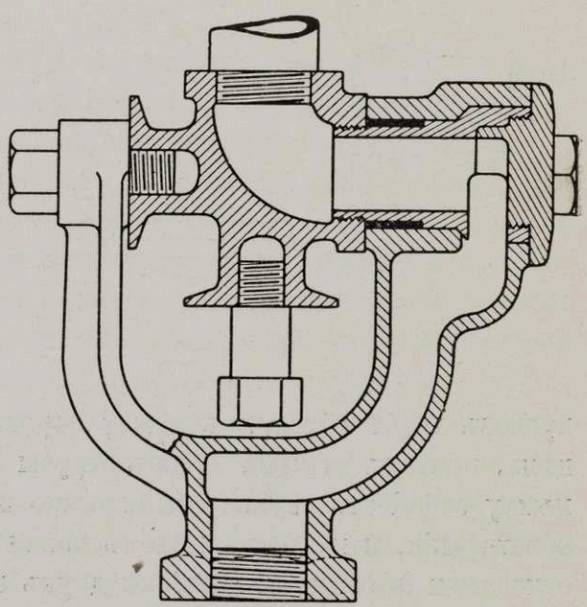
Чер. 187.

Наконецъ, выполняютъ и здѣсь шаровое сочлененіе въ видѣ настоящихъ шаровъ, заставляя работать шаръ въ шарѣ, подобно тому, какъ мы видѣли это при водопроводныхъ трубахъ. Наибольшую извѣстность получили *двѣ* системы такихъ сочленені̆, именно системы Морана и Мартина.

Само шаровое сочлененіе по системѣ Морана показано детально на фиг. 13—14 табл. 109 (хотя и не для паровоза, а для экскаватора). Въ этой системѣ чугунъ работаетъ прямо по чугуну; нажатіе одной части къ другой производится непосредственно самимъ давленіемъ пара. Примѣненіе сист. Морана къ проводкѣ трубъ между вагонами ясно показано на фиг. 15—18 табл. 116, вмѣстѣ со сцѣпкою.

Американцы систему Морана очень хвалятъ на основаніи практики работы съ ней на нѣкоторыхъ желѣзныхъ дорогахъ. При опытахъ такое сочлененіе будто бы даже само выбрасывало изъ себя песокъ, конскій волосъ, сѣно и пр., которыя въ него нарочно совали, и оставалось чистымъ и герметичнымъ. Когда давленіе пара на время будетъ прекращено то обѣ части сочлененія отходятъ одна отъ другой и автоматически выпускаютъ, такимъ образомъ, изъ трубопровода конденсаціонную воду.

Соединеніе Морана примѣняется также для сжатаго воздуха въ машинахъ для сверленія скалъ, для нефти и пр.



Чер. 188.

Въ системѣ *Мартина*, въ противоположность Морановской, работаютъ одна по другой двѣ шаровыя поверхности изъ разныхъ матеріаловъ, какъ это видно на фиг. 15—18 табл. 109 Атласа. Къ шаровому раздутію съ наружной его стороны прикасаются два кольца изъ спеціальнаго (не металлическаго) матеріала, который иногда называютъ „вулкабестонъ“. Матеріалъ этотъ обладаетъ достаточною твердостію и сопротивленіемъ изнашиванію; по словамъ фирмы, при средней работѣ, кольцо держится около года, послѣ чего его надо смѣнить. Матеріалъ этотъ нѣсколько жиренъ и смазываетъ слегка поверхность шара. Прижатіе внутренняго металлическаго шара къ на-

ружному кольцу производится и здѣсь, подобно тому какъ и у Морана, давленіемъ жидкости, находящейся въ трубѣ.

Всѣ металлическія части соединенія изготовляются изъ бронзы.

На фиг. 15—16 табл. 109 показано соединеніе, предназначаемое для *пара* и *сжатаго воздуха*. Оба кольца здѣсь одинаковы, изнашивается — только наружное, къ которому бронзовый шаръ все время прижимается давленіемъ жидкости; когда кольцо сильно изотрется, его ставятъ на мѣсто внутренняго, а это послѣднее—наружу.

На фиг. 17—18 показана конструкція, предназначаемая для трубъ, проводящихъ жидкость — нефть, воду и пр. Здѣсь оба кольца различны и внутреннее кольцо тоже прижато къ бронзовому шаровому раздутію при помощи пружины, заложенной въ кольцевое гнѣздо, гдѣ она защищена отъ дѣйствія текущей по трубѣ жидкости.

Система Мартина была построена спеціально для соединенія металлическихъ трубъ между паровозомъ и тендеромъ, но примѣняется и въ другихъ случаяхъ, гдѣ требуется удобоподвижность.

Гибкія соединенія трубъ, образующихъ ресиверъ въ компаундъ-паровозахъ системы Маллета, до послѣдняго времени изготовлялись изъ красной мѣди, и потому объ нихъ подробнѣе скажемъ въ отдѣлѣ мѣдныхъ трубъ, хотя въ настоящее время имѣются такія трубы и изъ желѣза или стали, какъ это видно на табл. 80 фиг. 9.

О сгибаніи желѣзныхъ трубъ.

§ 88. Для измѣненія направленія трубопровода при желѣзныхъ трубахъ большого діаметра пользуются, подобно тому, какъ и при чугунныхъ трубахъ, различными спеціальными, фасонными частями, которыя бываютъ или литыя, или клепаныя, сварныя и т. п. Если же діаметръ трубъ не особенно великъ, то наиболѣе простымъ средствомъ для полученія колѣна представляется—согнуть самую желѣзную или стальную трубу; труба можетъ быть и сварная и цѣльнотянутая, но, конечно, не клепаная. Обыкновенно изгибъ дѣлаютъ такимъ образомъ, что ось изогнутой части трубы имѣетъ форму дуги круга, причемъ минимальный радіусъ этого круга зависитъ отъ діаметра трубы и отъ толщины стѣнки ея.

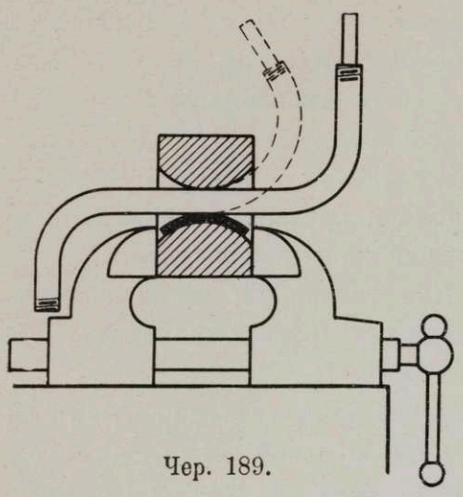
Въ настоящее время согнутыя изъ трубъ колѣна предпочитаютъ спеціальнымъ литымъ фасоннымъ колѣнамъ, по той причинѣ, что колѣна, согнутыя изъ трубъ, обходятся дешевле, обладаютъ гораздо большею податливостію, и при нихъ число соединеній трубъ выходитъ менѣе, тогда какъ каждое фасонное колѣно надо соединять съ трубами отдѣльно, и при этомъ требуется очень точная обработка флянцевъ.

Сгибаніе желѣзныхъ и стальныхъ трубъ можетъ быть производимо или въ горячемъ или въ *холодномъ* состояніи. Но какъ при томъ, такъ и при другомъ способѣ необходимо, чтобы изгибаемая часть трубы не была внутри пустою, такъ какъ она тогда во время изгибанія легко можетъ быть слишкомъ вытянута на выпуклой сторонѣ и сморщена на вогнутой. Поэтому, какъ при сгибаніи въ горячемъ, такъ и при сгибаніи въ холодномъ состояніи наполняютъ внутренность трубы какой нибудь пластичной массой, которая не дозволяетъ стѣнкамъ трубы подвергаться указаннымъ непріятнымъ деформаціямъ.

Лишь трубы очень малаго діаметра гнутъ безъ наполненія, пустыми.

Для сгибанія желѣзной или стальной трубы въ горячемъ состояніи наполняютъ трубу мельчайшимъ чистымъ сухимъ пескомъ, свободнымъ отъ горючихъ примѣсей, и плотно забиваютъ концы пробками, упирающимися въ песокъ. Затѣмъ та часть длины трубы, которая должна быть изогнута, нагрѣвается въ горнѣ, но по возможности слабо, не сильнѣе краснаго каленія. При болѣе сильномъ нагрѣвѣ стѣнки трубы могутъ при изгибѣ сломаться, выпучиться, вытянуться и пр. Лучше, если надо, подогрѣть трубу второй разъ, нежели сразу накаливать ее почти до бѣла и гнуть съ одного нагрѣва.

Нагрѣтая труба, если она небольшого діаметра, сгибается отъ руки, вокругъ ролика или оправки; трубы бо́льшаго діаметра гнутъ въ спеціальной машинѣ. Оправка для гнутья небольшихъ трубъ показана на чер. 189. Она вставляется въ обыкновенные тиски и состоитъ изъ металлической солидной штуки, въ которой высверлено расширяющееся въ обѣ стороны отверстіе; наименьшій діаметръ отверстія дѣлается, примѣрно, на $^1/_4$ дюйма болѣе наружнаго діаметра наибольшей трубы, которую предполагается гнуть въ этой оправкѣ; чтобы труба не болталась, подъ нее кладутъ полоску листового металла подходящей толщины.



Чер. 189.

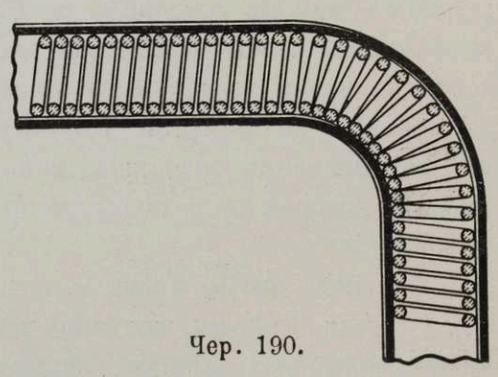
Если радіусъ колѣна равенъ 15 діаметрамъ трубы, или и еще больше, то трубу можно гнуть прямо, если же радіусъ будетъ менѣе, то необходимо прибѣгнуть къ охлажденію водою выпуклой стороны трубы; это необходимо для того, чтобы на этой сторонѣ матеріалъ не вытягивался бы слишкомъ сильно, ибо въ такомъ случаѣ песокъ находитъ въ растянутой части свободу и тугость заполненія имъ трубы уменьшается, онъ слабѣе поддерживаетъ трубу извнутри и потому стѣнки трубы могутъ быть исковерканы. Охлаждающую воду осторожно пускаютъ тонкой струйкой на выпуклую сторону трубы.

При сгибаніи сварной трубы слѣдуетъ наблюдать за тѣмъ, чтобы сварной шовъ лежалъ или въ растянутой или въ сжатой части трубы, но никоимъ образомъ не приходился бы на боку, такъ какъ въ этомъ послѣднемъ случаѣ очень легко можетъ произойти растрескиваніе трубы по шву.

Въ настоящее время все болѣе наблюдается стремленіе—замѣнить гнутіе трубъ въ горячемъ состояніи гнутіемъ ихъ въ холодномъ состояніи. Между прочимъ, однимъ изъ неудобствъ гнутія трубъ въ горячемъ состояніи является то обстоятельство, что песокъ, наполняющій трубу, пригараетъ крѣпко къ стѣнкамъ ея, а затѣмъ, при работѣ трубы, напр. если она служитъ паропроводомъ, попадаетъ въ машины и портитъ ихъ трущіяся части, истираетъ, напр., паровой цилиндръ и поршень и пр.

Для гнутія трубъ въ *холодномъ* состояніи трубы должны непремѣнно быть подвергнуты предварительному отжигу. Затѣмъ внутренность трубъ наполняютъ канифолію, смолой или легкоплавкимъ металлическимъ сплавомъ. Эти вещества или вливаются въ трубу уже будучи расплавлены, или же насыпаются въ трубу въ видѣ порошка и затѣмъ плавятся въ ней; сплавы берутся очень легкоплавкіе, плавящіеся уже при температурѣ кипѣнія воды.

Иногда для наполненія трубы берутъ просто глину, которую по возможности плотно набиваютъ въ ту часть длины трубы, которая подлежитъ загибанію.

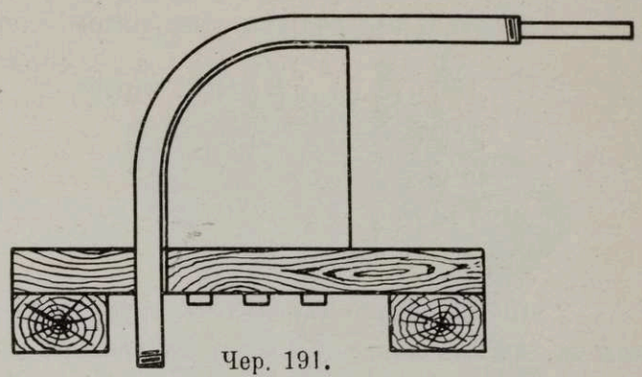


Чер. 190.

Весьма удобнымъ является также загибаніе трубы, наполненной внутри не пластичными веществами, а — *пружиной*. Для этой цѣли берутъ цилиндрическую спиральную пружину, сдѣланную изъ стальной или латунной проволоки; пружина завивается очень плотно и ея наружный діаметръ дѣлается чуть чуть менѣе внутренняго діаметра трубы; пружина вставляется въ трубу и затѣмъ труба загибается, чер. 190. Этотъ способъ въ особенности удобенъ при загибаніи трубъ въ колѣна съ большимъ радіусомъ, такъ какъ пружина въ этомъ случаѣ легко можетъ быть вынута. При малыхъ радіусахъ можно дѣлать пружину слегка коническою.

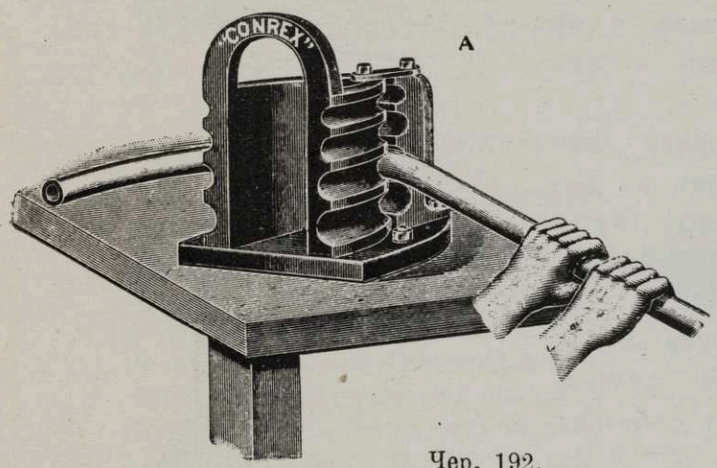
Послѣ наполненія трубу гнутъ подобно тому, какъ и горячую, или руками, или же въ спеціальныхъ машинахъ, смотря по величинѣ трубы и по тому, приходится ли гнуть трубы на заводѣ или на мѣстѣ.

Для загибанія небольшихъ трубъ въ холодномъ видѣ ихъ укрѣпляютъ однимъ концомъ и затѣмъ постепенно загибаютъ или вокругъ деревянной закругленной болванки чер. 191, или вокругъ спеціальной чугунной болванки съ выемками различнаго калибра, чер. 192 и 193, или вокругъ ролика съ полукруглымъ желобкомъ, сдѣланнымъ по его окружности, или между двумя роликами чер. 194, и т. п.

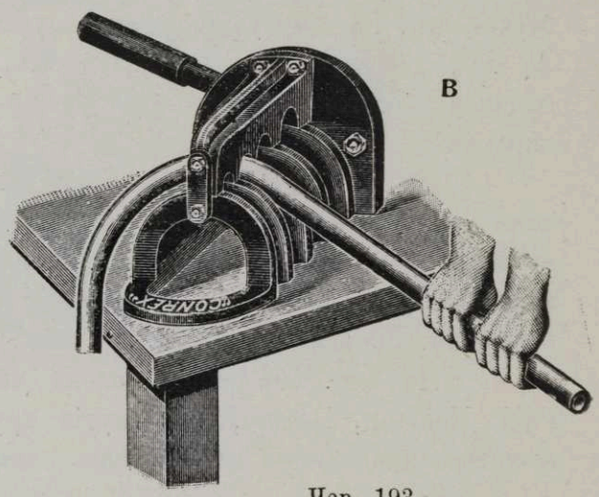


Чер. 191.

Небольшая и весьма удобная машинка (фирмы „Pedrick & Smith“, въ Филадельфіи) для загибанія трубъ малаго и средняго размѣра (до 2 дюймовъ діам.) пока-

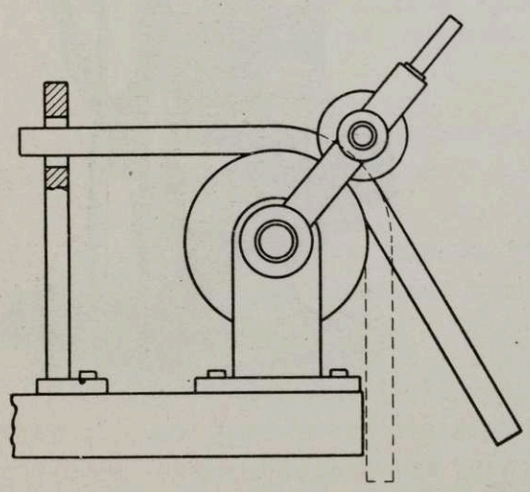


Чер. 192.

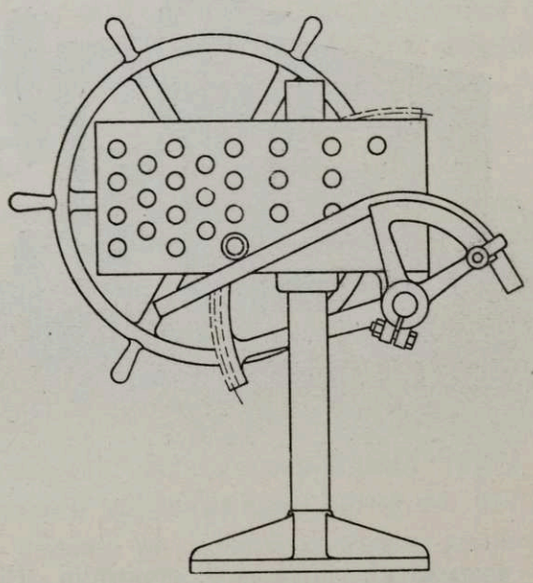


Чер. 193.

зана на чер. 195. Устройство ея понятно. Труба однимъ концомъ упирается въ штифтъ, вставленный въ доску со многими отверстіями, такъ что штифтъ можно переставлять



Чер. 194.



Чер. 195.

сообразно обстоятельствамъ; другой конецъ трубы лежитъ на секторѣ съ полукруглымъ желобкомъ, и вокругъ этого то сектора труба и загибается. Труба прикрѣпляется къ

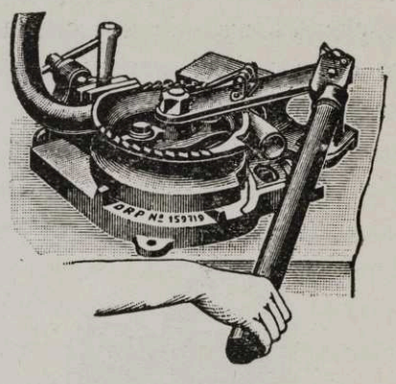
сектору при помощи U-образной скобы, на правомъ концѣ его; на оси сектора посаженъ зубчатый секторъ, приводимый въ движеніе отъ шестеренки, сидящей на оси большого маховичка съ рукоятками, вращаемаго рабочимъ.

Нормальные радіусы квадрантовъ, доставляемыхъ фирмою при машинѣ, таковы

для діам. трубы	*радіусъ квадранта*
1 дюйм.	6 дюйм.
$1^1/_4$ „	9 „
$1^1/_2$ „	12 „
2 „	14 „

На машинѣ можно гнуть трубу и въ полныя кольца, въ змѣевики, только тогда секторъ для трубы замѣняется кружкомъ, а зубчатый секторъ — полнымъ зубчатымъ колесомъ.

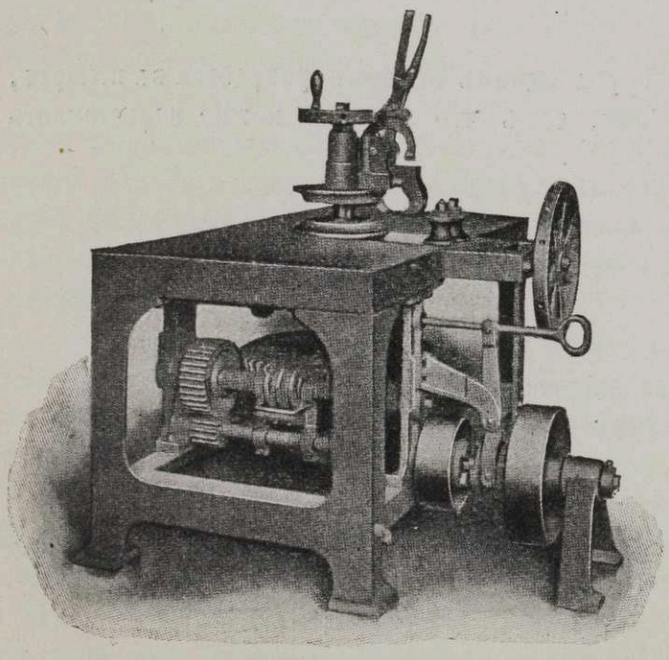
На чер. 196 представлена машина Американской фирмы „The Stoever Foundry & Manfg. Co., Myerstown, Pa., могущая гнуть трубы до діаметра въ $2^1/_2$ дюйма, какъ въ холодномъ, такъ и въ горячемъ состояніи, безъ наполненія ихъ и безъ оправки.



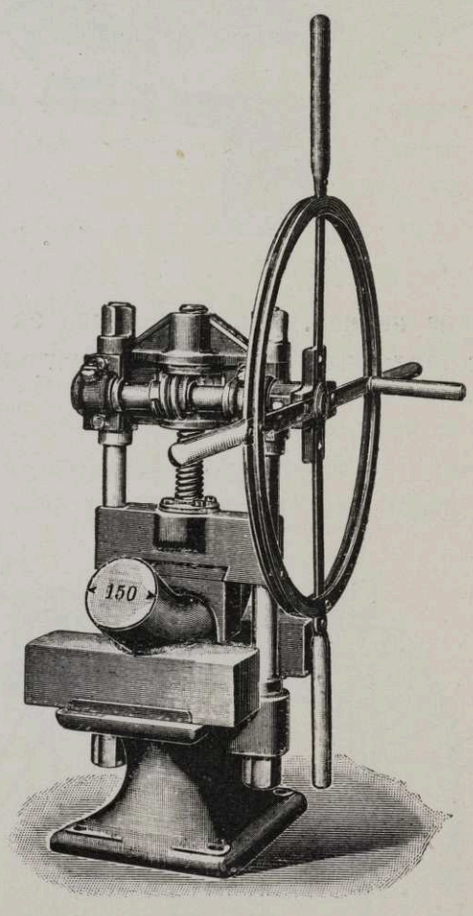
Чер. 197.

На чер. 197 видна Нѣмецкая машина „Циклопъ“, могущая гнуть трубы до 4 дюймовъ въ діаметрѣ; трубы до одного дюйма въ діаметрѣ гнутся холодными, а отъ 1 до 4 дюймовъ — въ нагрѣтомъ состояніи, съ одного нагрѣва.

На чер. 198 представлена машина завода Paul Homann, Dessau, для гнутія трубъ средняго діаметра, приводимая въ движеніе однимъ рабочимъ



Чер. 196.



Чер. 198.

при посредствѣ червячной передачи. Наибольшій діаметръ трубъ, при которомъ онѣ еще могутъ быть согнуты на этой машинѣ, таковъ:

для мѣдныхъ трубъ	150mm
для желѣзныхъ трубъ	100mm
для стальныхъ трубъ	80mm.

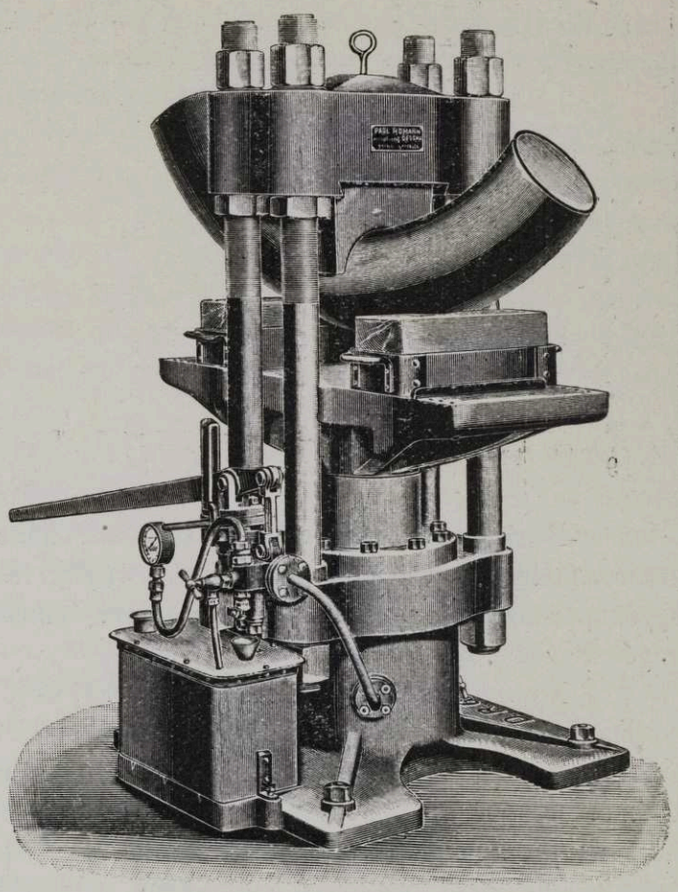
Вѣсъ машины, съ матрицей и маховикомъ—около 300 килограммовъ.

На чер. 199 представлена большая гидравлическая машина той же фирмы, могущая гнуть въ холодномъ состояніи трубы слѣдующаго наибольшаго діаметра:

мѣдныя трубы	350mm
желѣзныя трубы	250mm
стальныя трубы	200mm.

Вѣсъ машины съ однимъ наборомъ матрицъ — около 3200 килограммовъ.

Относительно работы на этихъ машинахъ (т. е. вообще, относительно сгибанія желѣзныхъ и стальныхъ трубъ значительнаго діаметра) фирма Homann даетъ въ своемъ проспектѣ слѣдующія указанія:



Чер. 199.

«Сгибаніе желѣзныхъ и стальныхъ трубъ.

Трубы отжигаютъ, наполняютъ смолою и даютъ имъ вполнѣ охладиться. Матрицу выбираютъ такимъ образомъ, чтобы ширина ея была бы болѣе діаметра трубы всего на 3—4mm; это необходимо для того, чтобы избѣжать появленія на трубѣ плоскихъ мѣстъ. Вставляютъ матрицу въ верхнюю плиту пресса, на нижнюю же платформу кладутъ два бруска изъ бѣлаго бука, вставляютъ трубу, начиная съ конца ея, и пускаютъ прессъ въ работу. Нажимать нужно лишь настолько, чтобы никоимъ образомъ не началось образованіе складокъ или морщинъ, которыя нельзя потомъ удалить подъ молотомъ (какъ это дѣлается при мѣдныхъ трубахъ). Когда труба въ этомъ мѣстѣ прогнута, открываютъ вентиль у насоса, нижняя платформа сама падаетъ, трубу продвигаютъ немного далѣе и опять нажимаютъ прессомъ. При этомъ надо всякій разъ, если образовалось начало маленькой складки, подвигать трубу настолько, чтобы при слѣдующемъ нажимѣ складка эта пришлась бы какъ разъ подъ срединой матрицы.

Обыкновенно для полученія крутого загиба трубу приходится пропускать сквозь машину два раза».

Данныя относительно наименьшаго возможнаго радіуса колѣна при загибѣ въ горячемъ и въ холодномъ состояніи приведены на табл. 77 *Атласа*. Иногда берутъ и меньшіе радіусы, такъ до 5 и даже до четырехъ діаметровъ трубы при холодномъ загибѣ, но при этомъ рискъ разрыва трубы увеличивается. Для цѣльнотянутыхъ стальныхъ трубъ и толстыхъ сварныхъ можно въ *случаѣ крайности* брать радіусы и менѣе приведенныхъ въ табличкѣ.

Съ другой стороны, наоборотъ, для возможно малаго поврежденія трубъ при сгибаніи и для полученія значительной податливости колѣнъ, многіе инженеры рекомендуютъ брать радіусъ колѣна или закругленія никакъ не менѣе восьми діаметровъ трубы.

Американскій заводъ Ball & Wood Co., at Elizabeth, N. J., даетъ слѣдующую таблицу размѣровъ колѣнъ, гнутыхъ изъ желѣзныхъ и стальныхъ трубъ; въ таблицѣ приведены наибольшій радіусъ, наименьшій радіусъ и нормальный, рекомендуемый радіусъ.

Діаметръ трубы въ дюймахъ	Наименьшій радіусъ колѣна, въ дюймахъ	Наибольшій радіусъ колѣна, въ дюймахъ	Рекомендуемый радіусъ колѣна, въ дюймахъ	Діаметръ трубы въ дюймахъ	Наименьшій радіусъ колѣна, въ дюймахъ	Наибольшій радіусъ колѣна, въ дюймахъ	Рекомендуемый радіусъ колѣна, въ дюймахъ
$2^1/_2$	10	25	15	10	40	100	60
3	12	30	18	11	44	110	66
$3^1/_2$	14	35	21	12	48	120	72
4	16	40	24	14	60	140	84
$4^1/_2$	18	45	27	15	68	145	90
5	20	50	30	16	76	150	100
6	24	60	36	18	90	165	125
7	28	70	42	20	120	180	150
8	32	80	48	22	132	198	165
9	36	90	54	24	144	216	180

Вслѣдствіе того, что при загибѣ стѣнки трубы вытягиваются, весьма часто для изготовленія загнутаго колѣна берутъ трубу такого же діаметра, какъ и прямая часть трубопровода, но съ толщиною стѣнки на одинъ номеръ бо́льшею, нежели самый прямой трубопроводъ.

Кромѣ того, при изготовленіи гнутаго колѣна рекомендуется не дѣлать все колѣно въ видѣ дуги круга, а оставлять еще на концахъ его и прямыя части, какъ это показано на фиг. 3, табл. 77, гдѣ длина такихъ прямыхъ частей показана равной 100mm независимо отъ діаметра трубы; но можно брать длину прямой части и иначе; такъ напр., при діаметрѣ трубы менѣе 4 дюймовъ наименьшую длину прямыхъ частей можно брать равной 1,5 діаметра, а при діаметрѣ свыше 4 дюймовъ—равной діаметру. Но, вообще, хорошо имѣть эту длину не менѣе двухъ діаметровъ.

Слѣдуетъ еще упомянуть, что при загибѣ трубы вообще наружныя части вытягиваются болѣе, нежели сжимаются внутреннія, и поэтому нейтральная линія, которая не испытываетъ измѣненія длины, не совпадаетъ съ геометрическою осію трубы, а перемѣщается къ центру кривизны; такъ, напр., при загибѣ трубы съ діаметромъ въ 300mm въ колѣно съ угломъ въ 90^0 было найдено, что выпуклая сторона вытянулась на 300mm, а внутренняя укоротилась на 210mm; это соотвѣтствуетъ перемѣщенію нейтральной линіи на 30mm отъ оси трубы, по направленію къ центру кривизны загиба.

Изъ этого видно, что на внѣшней сторонѣ загнутой трубы матеріалъ стѣнки сильно вытягивается, и стѣнка утоняется; для того, чтобы не получить въ концѣ концовъ стѣнку колѣна очень тонкой, въ практикѣ, какъ уже сказано выше, принято — брать для изготовленія загнутыхъ трубъ (колѣнъ) трубы, которыхъ толщина стѣнки на одинъ (а при очень крутыхъ загибахъ—даже на два) калибръ больше, нежели у прямой трубы того же діаметра, съ которой соединяется разсматриваемое колѣно. Такой обычай даетъ, конечно, колѣно вполнѣ надежное въ смыслѣ прочности стѣнокъ его, но за то получается другое неудобство — именно, на большей части окружности трубы стѣнка и послѣ загиба будетъ имѣть толщину бо́льшую, нежели нормальная труба того же діаметра, и это отражается весьма невыгодно на *гибкости* колѣнъ въ томъ случаѣ, если въ трубопроводѣ не имѣется особыхъ расширителей, а само колѣно предназначено играть и роль гибкаго, податливаго расширителя. Обстоятельство это явилось очень значительнымъ неудобствомъ при мѣдныхъ паропроводахъ высокаго давленія, о чемъ подробно будетъ говорено далѣе.

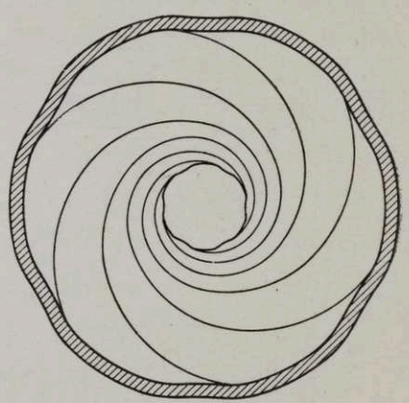
№. Описаніе новой Американской машины для гнутья въ холодномъ состояніи трубъ, безъ наполненія ихъ, можно найти въ „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“, 1910 г., № 32.

Спиральныя желѣзныя трубы.

§ 89. Въ заключеніе отдѣла о желѣзныхъ трубахъ опишемъ еще вкратцѣ одну новинку, появившуюся недавно въ Америкѣ, именно *спиральныя* желѣзныя или стальныя трубы для нефтепроводовъ. Дѣло здѣсь въ слѣдующемъ.

Какъ извѣстно, треніе нефти о стѣнки металлическихъ трубопроводовъ во много разъ больше, нежели треніе воды, и поэтому при устройствѣ нефтепроводовъ является большое неудобство, состоящее въ томъ, что для преодолѣнія этого тренія насосы должны затрачивать весьма значительную работу. Для устраненія этого неудобства придумывали различныя средства, но единственнымъ, которое имѣло нѣкоторое практическое значеніе, являлось подогрѣваніе нефти, съ цѣлію уменьшенія коэффиціента тренія ея о стѣнки. Но примѣненіе этого средства въ практикѣ сопряжено съ значительными неудобствами.

Въ 1906 году въ Америкѣ инженеру John D. Isaacs пришла смѣлая мысль, могущая прійти въ голову только Американцу, именно — *окружить текущую въ трубѣ нефть концентрическимъ слоемъ воды,* текущей вмѣстѣ съ нею, и, такимъ образомъ, замѣнить треніе нефти о стѣнки треніемъ воды о тѣ же стѣнки, которое приблизительно въ 8—10 разъ меньше. Дѣло было за немногимъ — какъ заставить воду расположиться такъ, чтобы на всей длинѣ трубы она не смѣшивалась бы неправильно съ нефтію, а окружала бы ее вездѣ ровнымъ концентрическимъ слоемъ, располагаясь между стѣнками трубы и нефтянымъ стержнемъ внутри ея?



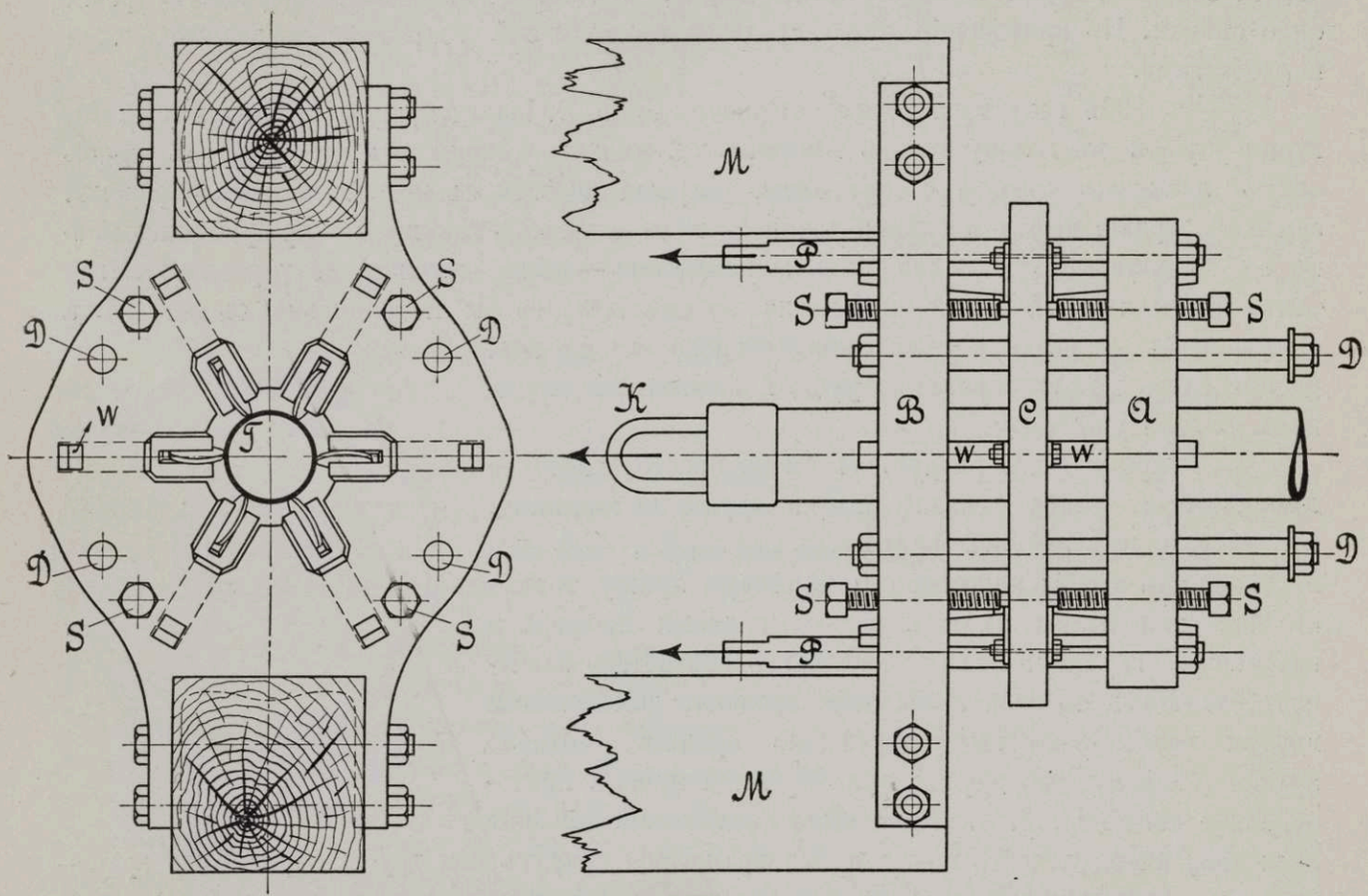
Чер. 200.

Вопросъ былъ разрѣшенъ очень просто, чисто по Американски. Isaacs сдѣлалъ стѣнки трубы не гладкими, а снабдилъ ихъ рядомъ винтовыхъ завитковъ, такъ что внутренность трубы напоминаетъ нарѣзную пушку, только нарѣзки или волны имѣютъ весьма плавный профиль и небольшую глубину. Вслѣдствіе такихъ винтовыхъ завитковъ, идущихъ по всей линіи нефтепровода, находящееся внутри трубы вещество принуждено принять, подобно артиллерійскому снаряду внутри нарѣзной пушки, винтообразное движеніе, т. е. подвигаться (вслѣдствіе давленія насосовъ) впередъ, и въ то же время вращаться вокругъ оси трубы. При этомъ вращеніи вода, какъ жидкость, имѣющая бо́льшую плотность, нежели нефть, отбрасывается центробѣжною силою наружу, т. е. къ стѣнкамъ трубы и, такимъ образомъ, обволакиваетъ нефть тонкимъ концентрическимъ слоемъ. Въ результатѣ—о стѣнки трубы трется вода, а нефть течетъ внутри этого водяного чехла.

Эта смѣлая мысль не осталась лишь въ головѣ изобрѣтателя. Со свойственною Американцамъ практичностію, онъ повелъ дѣло дальше, построилъ машину для изготовленія такихъ спиральныхъ трубъ, и въ 1906 году строилась уже линія такихъ трубъ въ 30 Англ. миль длиною и въ 8 дюймовъ діаметромъ. Результаты работы этой линіи получились прекрасные.

Эту линію мы теперь и опишемъ подробнѣе На чер. 200 показанъ поперечный разрѣзъ и перспективный видъ вдоль оси трубы, на которомъ ясно видны винтовыя поверхности. Труба представляетъ изъ себя шести-оборотный винтъ; шагъ этого винта равенъ 10 футамъ. Для изготовленія трубъ устроена машина, понятіе о главной рабочей части которой даетъ чертежъ 201. Труба изготовляется изъ обыкновенной гладкой желѣзной или стальной трубы такимъ путемъ, что рядъ роликовъ, между которыми постепенно проходитъ труба, выдавливаетъ на ней винтообразныя выпуклости. Существенная часть машины, представленная на чер. 201, состоитъ изъ двухъ солидныхъ плитъ A и B, изъ которыхъ каждая несетъ въ себѣ по шести роликовъ, могущихъ

вращаться на осяхъ, лежащихъ въ вилкообразныхъ опорахъ; опоры эти могутъ быть подвигаемы по радіальному направленію при помощи клиньевъ *W*, *W*, прикрѣпленныхъ къ среднему, подвижному диску *C*. Плита *A* тоже подвижная, а плита *B*—неподвижна и привернута къ деревяннымъ двумъ брусьямъ *M*, *M*, образующимъ раму машины. Плиту *A* можно подвигать при помощи стержней *P*, *P* и особаго рычага, не показаннаго на чертежѣ; при помощи же установительныхъ винтовъ *S*, *S* дискъ *C* всегда устанавливается на равныхъ разстояніяхъ отъ обѣихъ плитъ *A* и *B*. При сближеніи всѣхъ трехъ плитъ, которыя направляются въ своемъ относительномъ движеніи четыремя круглыми стержнями *D*, *D*, *D*, *D*, клинья *W*, *W* подвигаютъ ролики къ центру вставленной между ними трубы *T* и врѣзываются въ нее. Ролики установлены какъ разъ съ тѣмъ наклономъ къ оси трубы, какой желаютъ дать винтовой линіи, именно, въ данномъ



Чер. 201.

случаѣ изготовливаемой восьми-дюймовой трубы, уклонъ берется $^5/_{24}$, что̀ соотвѣтствуетъ шагу винтовой линіи въ 10 футъ. Разстояніе между плитами *A* и *B* берется равнымъ одной шестой шага, такъ что ролики обѣихъ плитъ, дающіе одну и ту же винтовую линію, сдвинуты по окружности одинъ относительно другого на 60°. Послѣ того, какъ труба вставлена въ машину, конецъ ея завертываютъ пробкой со скобой, наполняютъ трубу для пробы водою подъ давленіемъ около 1200 фунтовъ на □ дюймъ и, если труба выдержала пробу, зацѣпляютъ ее за скобу *K* канатомъ и тянутъ трубу впередъ; труба получаетъ тогда между роликами и вращательное и поступательное движеніе и ролики выдавливаютъ на ней винтообразныя углубленія. Ролики вдавливаютъ въ трубу по радіусу на $^3/_{32}$ дюйма *.

Результаты работы построенной изъ этихъ восьми-дюймовыхъ трубъ пробной линіи

---

* Первоначально изготовленіе винтовыхъ бороздокъ на трубѣ производилось въ холодномъ состояніи, но затѣмъ оказалось, что при этомъ матеріалъ трубы сильно страдаетъ и потому въ дальнѣйшемъ стали производить процессъ выдавливанія бороздокъ въ горячемъ состояніи.

въ 31 милю длиною между Volkan и Delano * оказались въ высшей степени благопріятными. Труба давала нефти въ 8 и даже въ 10 разъ больше, нежели дала бы такая же труба безъ введенія воды, но при тѣхъ же условіяхъ. При устройствѣ этой трубы высказывались различныя опасенія относительно ея будущей работы, именно, говорилось, что трудно будетъ пускать трубопроводъ въ работу, что вода и нефть образуютъ эмульсію, которую потомъ не раздѣлишь, что при сильномъ давленіи плотность нефти станетъ больше плотности воды и пр. Но все это на дѣлѣ не оправдалось.

Вода пускается въ трубу при помощи особаго сопла, которое вводитъ ее въ трубу, разбрасывая ее къ окружности и сообщая ей винтовое движеніе, согласное съ будущимъ ея движеніемъ въ трубѣ. Нефть и вода совершенно не смѣшиваются и при выходѣ изъ нефтепровода весьма легко раздѣляются въ простомъ отстойномъ бакѣ. Наилучшіе результаты получаются въ томъ случаѣ, когда воды примѣшивается къ нефти около 10%.

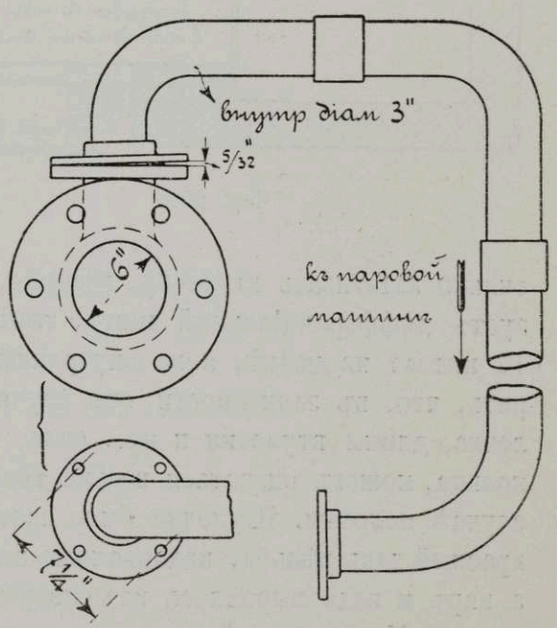
Бо́льшія подробности интересующіеся найдутъ въ журналѣ „Engineering News“ за 1906 г., June 7, и въ „The Engineering Record“ за 1908 г., May 23.

Поломки желѣзныхъ и стальныхъ трубъ.

§ 90. Поломокъ желѣзныхъ и стальныхъ трубъ встрѣчается весьма немного, по сравненію съ чугунными и мѣдными. Въ литературѣ описано нѣсколько случаевъ поломокъ вслѣдствіе, главнымъ образомъ, водяного удара, но такихъ случаевъ очень немного. Здѣсь я привожу лишь два примѣра поломокъ желѣзныхъ трубъ, представляющіе извѣстный интересъ. Что касается очень многочисленныхъ случаевъ разрыва трубокъ въ водотрубныхъ котлахъ, то ихъ здѣсь мы касаться не будемъ, такъ какъ они относятся скорѣе къ изученію котловъ, нежели трубопроводовъ, и условія работы такихъ трубокъ въ котлахъ совсѣмъ другія, нежели въ обыкновенныхъ трубопроводахъ.

Примѣръ 1-й. Взрывъ паропровода.

На писчебумажной фабрикѣ въ Дублинѣ имѣлся 6-дюймовый чугунный паропроводъ, отъ котораго къ паровой горизонтальной машинѣ шло отвѣтвленіе въ 3 дюйма діаметромъ, изъ желѣзныхъ трубъ, имѣющее три заворота или колѣна, чер. 202. Чугунный флянецъ, къ которому было привернуто это отвѣтвленіе, имѣлъ діаметръ въ 9 дюймовъ; желѣзный флянецъ, свернутый съ нимъ, имѣлъ въ діаметрѣ тоже 9 дюймовъ и толщину въ $^{7}/_{16}$ дюйма; высота горла его, т. е. длина навернутой на рѣзьбѣ части флянца, была около 1 дюйма. Оба эти флянца были свернуты четыремя болтами въ $^{5}/_{8}$ дюйма діаметромъ. Прокладкой служило тканое кольцо около 1 дюйма ширины, $5^{1}/_{2}$ дюймовъ наружнаго діаметра, и $^{3}/_{16}$ дюйма толщиною. Кольцо состояло изъ смѣси азбеста и резины. Взрывъ произошелъ вслѣдствіе того, что, благодаря невѣрной обработкѣ поверхностей флянцевъ, прокладка была очень неравномѣрно сжата: на одной



Чер. 202.

---

* Вся линія, отъ нефтяныхъ полей у Kern River, въ Калифорніи, до Porta Costa имѣетъ длину въ 285 Англ. миль (500 верстъ).

сторонѣ она была вполнѣ сплющена, а на другой оставалась щель между флянцами около $^{5}/_{32}$ дюйма шириною, чер. 202.

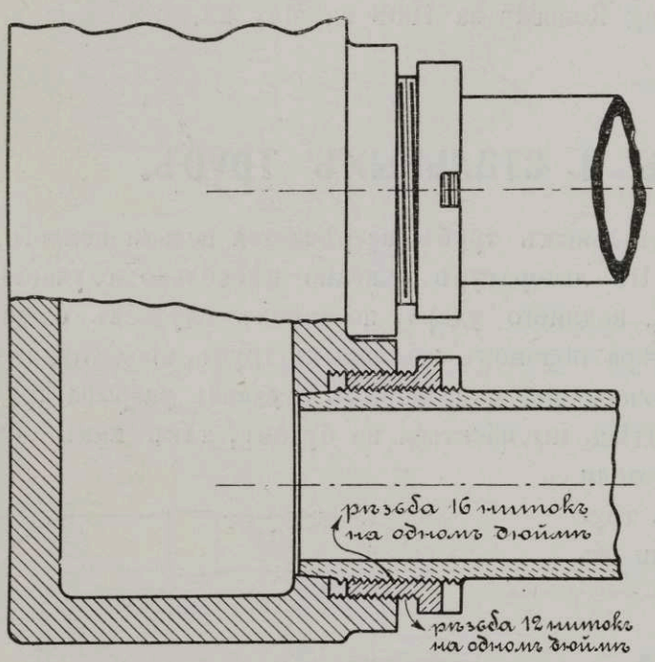
Кромѣ того, для давленія въ 80 фунтовъ, которое имѣло мѣсто въ данномъ случаѣ, шагъ болтовъ слѣдуетъ признать слишкомъ большимъ (или число ихъ слишкомъ малымъ). (Англія, 1904 годъ).

Примѣръ 2-й. Изломъ втулочки въ водотрубномъ котлѣ.

Хотя водотрубные котлы не являются при своихъ взрывахъ причинами крупныхъ, массовыхъ несчастій, тѣмъ не менѣе, число мелкихъ непріятностей и увѣчій при нихъ очень значительно, и причины такихъ несчастій довольно разнообразны.

Приводимый ниже примѣръ показываетъ, какъ ничтожныя причины влекутъ за собою серьезныя слѣдствія.

Описываемое несчастіе произошло съ водотрубнымъ котломъ системы Гайторнъ; соединенія трубокъ этого котла съ коробками показаны детально на фиг. 16—17 табл. 88 *Атласа*. У котла, о которомъ идетъ рѣчь, соединеніе было нѣсколько видоизмѣнено такъ, какъ показано на чер. 203, именно, конецъ трубки сдѣланъ слегка коническимъ и при затяжкѣ втулочки коническая оконечность трубки вжимается въ стѣнку коробки. При конструированіи этого соединенія предполагалось, что одной коничности будетъ достаточно для герметичности, но это на дѣлѣ не оправдалось, и въ практикѣ часто оказывалось необходимымъ—класть въ глубину выточки для ввертной втулочки еще и резиновое кольцо. Для того, чтобы зажать это кольцо, приходилось преодолѣвать сопротивленіе конической приточки и чрезвычайно сильно затягивать втулочку, которая, какъ видно и изъ *Атласа* и изъ чер. 203, образуетъ дифференціальный винтъ, такъ какъ на наружной поверхности имѣетъ рѣзьбу въ 12 нитокъ на дюймѣ, а на внутренней—въ 16 нитокъ на дюймѣ длины. Нечего и говорить, что, въ зависимости отъ случайныхъ причинъ, именно: толщины резиноваго колечка, длины втулочки и пр., сила, потребная для того, чтобы довернуть втулочку до кольца, можетъ оказаться весьма велика. Такъ оно и оказалось въ описываемомъ здѣсь случаѣ поломки. Втулочка было завернута насильно, такъ крѣпко, что въ одинъ прекрасный день рѣзьба, надорванная этимъ, сорвалась и трубка была вырвана изъ котла, а паръ и вода вырвались изъ отверстія подъ давленіемъ въ 200 фунтовъ на □ дюймъ.



Чер. 203.

Угольщикъ былъ слегка раненъ, а кочегаръ убѣжалъ невредимымъ, но убѣгая споткнулся, упалъ, и сломалъ себѣ три ребра.

Укажу еще нѣсколько журнальныхъ статей, представляющихъ интересъ:

Журналъ „*Engineering News*“.

1900 годъ, Мартъ 1.— Объ изготовленіи стальныхъ трубъ съ наружными ребрами; сѣченія трубъ различныя: круглое, прямоугольное, треугольное и пр.; трубы служатъ для устройства колоннъ, мачтъ и т. п.

1903 годъ, Октябрь 1.— Статья Riffle о ходовыхъ желѣзныхъ и стальныхъ трубахъ, содержащая много интересныхъ подробностей.

Журналъ „*Engineering*“.

1898 годъ, Февраль 4.— Соединеніе трубъ для велосипедныхъ рамъ, получаемое путемъ гидравлической раздачи.

1900 годъ, Августъ 10.— Подобный же способъ соединенія трубъ для велосипедныхъ рамъ.

Журналъ „*The Practical Engineer*“.

1902 годъ, Іюль 11 и 25.— Нѣкоторыя подробности о трубахъ для паропроводовъ и ихъ соединеніяхъ.

1908 годъ, Октябрь 16.— Объ изготовленіи желѣзныхъ трубъ путемъ электролиза (подобно мѣднымъ трубамъ Эльмора).

Кромѣ указанныхъ ранѣе книгъ относительно изготовленія желѣзныхъ трубъ, укажу еще слѣдующую, недавно вышедшую:

Die Fabrikation nahtloser Stahlrohre, von Anton Bousse. 1908.

Во время печатанія настоящаго листа вышла весьма интересная книга, содержащая результаты обширныхъ опытовъ надъ ржавленіемъ чугунныхъ и желѣзныхъ трубъ, произведенныхъ въ Германіи. Воспользоваться этимъ матеріаломъ я уже не могъ, такъ какъ листы были уже сверстаны. Книга носитъ названіе:

„Ueber das Verhalten von Guss- und Schmiederohren in Wasser, Salzlosungen und Säuren“. —Von Dr. O. Kröhnke. 1911.

Опыты говорятъ, во всякомъ случаѣ, скорѣе въ пользу желѣзныхъ трубъ противъ чугунныхъ.

ГЛАВА XI.

Мѣдныя трубы.

§ 91. Если предыдущій отдѣлъ—„О желѣзныхъ и стальныхъ трубахъ“, можно было бы начать съ похвалы и указанія на то, что эти трубы все болѣе и болѣе входятъ въ употребленіе и почти не причиняютъ крупныхъ несчастій при построенныхъ изъ нихъ трубопроводахъ, то настоящій отдѣлъ, наоборотъ, приходится начинать съ порицанія и говорить о томъ, что разсматриваемыя въ немъ мѣдныя трубы являлись причиной сотенъ несчастій и смертей, и что онѣ постепенно вымираютъ, уступая мѣсто желѣзнымъ и стальнымъ. Ввиду важности такой перемѣны во взглядахъ приходится остановиться нѣсколько подробнѣе на этомъ вопросѣ.

Еще десять-пятнадцать лѣтъ тому назадъ трубы изъ красной мѣди пользовались большимъ уваженіемъ, въ особенности въ качествѣ трубъ для паропроводовъ, и преимущественно для паропроводовъ на судахъ, а болѣе всего—на судахъ военнаго флота, и благодаря такому широкому ихъ распространенію создалось даже всеобщее убѣжденіе или предразсудокъ, (который, можетъ быть, держится и до сихъ поръ) именно, что мѣдь есть единственный пригодный матеріалъ для (пароходныхъ) паропроводовъ. Въ настоящее время репутація мѣдныхъ трубъ сильно пострадала и можно сказать, даже совершенно упала, и во всѣхъ серьезныхъ случаяхъ современной практики, т. е. для паропроводовъ высокаго давленія, и, тѣмъ болѣе,—для *перегрѣтаго* пара, мѣдныя трубы вытѣснены желѣзными и стальными трубами.

Мы присутствуемъ при этой замѣнѣ мѣдныхъ трубъ желѣзными и потому является весьма важнымъ—прежде всего выяснить, почему мѣдныя трубы въ теченіи стольких десятковъ лѣтъ пользовались прекрасною репутаціей и огромнымъ распространеніемъ, а въ послѣдніе годы такъ сильно уронили себя въ глазахъ инженеровъ и замѣнились желѣзными и стальными?

Достоинствами трубъ изъ красной мѣди являются:

1). Ихъ значительная *гибкость*, позволяющая съ удобствомъ употреблять изготовленныя изъ мѣдныхъ трубъ колѣна и тому подобныя кривыя трубы въ качествѣ расширителей.

2). *Удобство изготовленія* трубъ при помощи пайки, такъ какъ при этомъ трубы готовятся не цѣльнотянутыми, а сгибаются изъ листовъ, а листы можно легко имѣть наилучшаго качества.

Однако, достоинства эти, по своей числовой, такъ сказать, величинѣ, не постоянны, и зависятъ отъ различныхъ другихъ физическихъ обстоятельствъ. Важнѣйшими изъ такихъ обстоятельствъ являются: **давленіе пара** въ паропроводѣ и его **температура.**

Всего какихъ-нибудь 20—15 лѣтъ тому назадъ давленіе пара въ 4—5 атмосферъ было обычнымъ, а давленіе въ 6—8 атмосферъ считалось уже большимъ. При такихъ незначительныхъ давленіяхъ толщина стѣнокъ мѣдныхъ трубъ выходила не особенно большою и тонкостѣнныя трубы, имѣющія форму колѣнъ и т. п., обладали, дѣйствительно, довольно большими деформаціями, и потому съ удобствомъ служили въ качествѣ гибкихъ расширителей, дѣлая излишнимъ спеціальные расширители, стоящіе довольно дорого. Съ другой стороны, конкуррировать съ мѣдными трубами было некому, такъ какъ производство желѣзныхъ и стальныхъ трубъ значительнаго діаметра нѣсколько десятковъ лѣтъ тому назадъ находилось въ младенчествѣ, и развилось лишь за послѣдніе 15—10 лѣтъ. Чугунныя трубы конкуррировали съ мѣдными, но вслѣдствіе большой хрупкости чугуна, который не способенъ сопротивляться ударамъ и толчкамъ, чугунныя трубы въ серьезныхъ случаяхъ признавались уже и тогда опасными и замѣнялись (напр. на судахъ военнаго флота) болѣе гибкими и надежными мѣдными трубами. Все это было вполнѣ естественно и разумно.

Но съ теченіемъ времени обстоятельства стали измѣняться. Давленіе пара все повышалось и въ настоящее время дошло уже до 20 атмосферъ; при такомъ давленіи температура насыщеннаго водяного пара достигаетъ уже до 210° Цельзія, а при сильномъ перегрѣвѣ температура подымается и до 350° Цельзія.

Благодаря этому пришлось считаться—съ одной стороны, съ увеличеніемъ необходимой толщины стѣнокъ, вызваннымъ повышеніемъ давленія, а съ другой—съ пониженіемъ прочности какъ самой мѣди при высокой температурѣ, такъ и съ разрушеніемъ припоя при высокой температурѣ.

Мѣдныя трубы именно потому и пользовались почетомъ, что, благодаря своей значительной гибкости, такія трубы, имѣющія колѣна и вообще изгибы, могли замѣнять собою спеціальные расширители. Но, по мѣрѣ повышенія давленія и увеличенія толщины стѣнокъ, способность мѣдныхъ трубъ сильно деформироваться безъ вреда для прочности—все уменьшалась, и это стало отражаться на весьма значительномъ числѣ взрывовъ, или, вѣрнѣе, поломокъ мѣдныхъ паропроводовъ тамъ, гдѣ они пользовались наибольшимъ почетомъ, именно на пароходахъ. Исторія этихъ поломокъ представляетъ изъ себя въ **высшей степени любопытную и поучительную страницу изъ исторіи техники** и заслуживаетъ того, чтобы на ней немного остановиться, что̀ мы и сдѣлаемъ далѣе.

Съ другой стороны, при значительномъ давленіи пара, а тѣмъ болѣе, при перегрѣтомъ парѣ, пришлось считаться съ новымъ явленіемъ, которое при чугунѣ и желѣзѣ (и стали) еще не даетъ себя знать при той же температурѣ, именно *съ значительнымъ уменьшеніемъ крѣпости мѣди*, которое опять требуетъ излишней толщины стѣнки, а съ нѣкоторой температуры дѣлаетъ мѣдь и совершенно непригодной въ качествѣ матеріала для паропровода.

На этихъ двухъ обстоятельствахъ мы теперь и остановимся нѣсколько подробнѣе.

Какъ уже было выяснено ранѣе, паропроводы, а въ особенности паропроводы на судахъ, подвергаются разнообразнымъ вліяніямъ отъ измѣненій температуры и отъ вибрацій. Расширеніе самихъ трубъ, расширеніе котловъ, дрожанія машинъ и котловъ, происходящія отъ сильной качки, а также и дрожанія машинъ во время работы, дрожанія корпуса судна,—все это отражается на прочности трубъ, и такъ какъ этимъ вліяніямъ трубы сопротивляться не могутъ, то трубопроводъ долженъ быть расположенъ такимъ образомъ, чтобы всѣ измѣненія въ положеніяхъ названныхъ частей могли бы происходить не вызывая въ трубахъ значительныхъ напряженій. Паропроводъ долженъ быть какъ можно болѣе гибокъ и удобоподвиженъ.

Въ прежнее время, когда давленіе пара было невелико, и мощность пароходныхъ машинъ не особенно велика, мѣдныя трубы на пароходахъ могли имѣть неболь-

шіе діаметры и небольшую толщину стѣнокъ, и поэтому мѣдный паропроводъ съ колѣнами изъ мѣдныхъ же трубъ являлся очень гибкимъ и свободно выдерживалъ всѣ названныя вліянія, причемъ въ самыхъ опасныхъ мѣстахъ его, именно возлѣ мѣстъ укрѣпленія трубъ къ неподвижнымъ частямъ (возлѣ вентилей, котловъ и пр.) все таки не развивалось большихъ напряженій. Кромѣ того, при маломъ давленіи пара и величина полнаго удлиненія или расширенія разныхъ частей была не особенно велика.

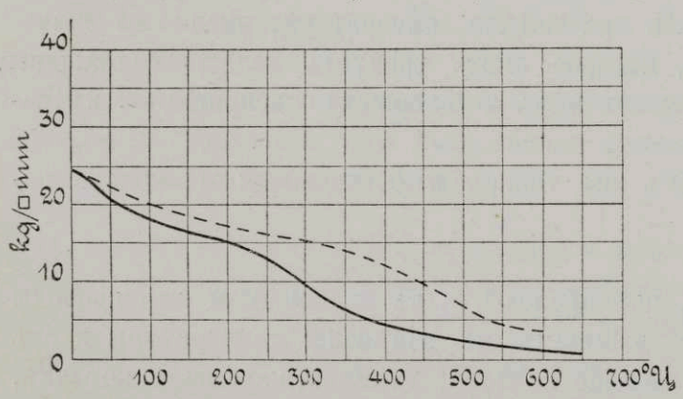
Но съ теченіемъ времени все это стало измѣняться. Мощность паровыхъ машинъ стала быстро расти, а вмѣстѣ съ нею—и діаметры паропроводовъ; давленіе пара тоже постоянно повышалось; отъ совмѣстнаго вліянія этихъ двухъ причинъ *толщины стѣнокъ мѣдныхъ паропроводовъ стали весьма быстро увеличиваться*; съ другой стороны, благодаря повышенію температуры пара, величина расширенія трубъ и котловъ стала значительно больше, нежели прежде. И не трудно понять, что большія и толстыя трубы скоро оказались не въ состояніи поддаваться этимъ значительнымъ расширеніямъ такъ, какъ тонкія, у которыхъ въ стѣнкахъ развивались лишь малыя напряженія; толстыя трубы, при той же деформаціи, испытывали бо́льшія напряженія и постепенно начались *поломки* мѣдныхъ пароходныхъ паропроводовъ, которымъ имя почти легіонъ. Въ одной Англіи, благодаря ея громадному флоту, такихъ поломокъ насчитываются сотни!

Поломки этого рода необыкновенно характерны. Именно, во всѣхъ рѣшительно случаяхъ происходитъ не разрывъ трубы по продольному направленію, который произошелъ бы, если бы сама труба была слаба въ смыслѣ сопротивленія давленію пара; нѣтъ, всѣ рѣшительно такія поломки жесткихъ паропроводовъ происходятъ *поперекъ* трубы; всегда неизмѣнно труба ломается по поперечному круглому сѣченію, отъ изгиба ее поперечными силами. И изломъ происходитъ всегда возлѣ мѣста ущемленія трубы, возлѣ вентиля или флянца, гдѣ будетъ въ защемленной части трубы наибольшее напряженіе.

Далѣе мы приводимъ цѣлый рядъ такихъ поломокъ, весьма поучительный.

Къ этимъ затрудненіямъ присоединилось еще и то, что *паять* большія и толстыя трубы несравненно труднѣе, нежели тонкія, такъ какъ является опасность, что сквозь толстую стѣнку стыкъ плохо пропаяется, а при очень сильномъ нагрѣвѣ легко сжечь самую трубу. Это обстоятельство повело къ замѣнѣ паяныхъ трубъ цѣльными.

Переходя теперь къ другой причинѣ, которая повела къ замѣнѣ мѣдныхъ трубъ желѣзными и стальными, именно, къ *значительному пониженію прочности мѣди при повышеніи температуры*, мы здѣсь должны замѣтить слѣдующее.



Чер. 204.

Изслѣдованія надъ вліяніемъ высокой температуры на свойства мѣди (крѣпость и податливость) производились уже давно, и въ настоящее время цѣлымъ рядомъ опытовъ безспорно выяснено, по какому закону происходитъ это пониженіе прочности. Въ подробности здѣсь входить я не буду *, а укажу лишь на діаграммѣ ходъ паденія прочности мѣди по изслѣдованіямъ проф. Штрибека (1903 годъ). Діаграмма эта показана на чер. 204. По горизонтальной оси отложены температуры въ градусахъ Цельзія, а

* Весьма полныя и обстоятельныя свѣденія относительно вліянія температуры на прочность различныхъ металловъ (желѣза, стали, мѣди, бронзы и пр.) можно найти въ превосходной книгѣ инженера Баумана: „Die Festigkeitseigenschaften der Metalle in Wärme und Kälte“. Von R. Baumann. Stuttgart, 1907.

по вертикальной—соотвѣтствующія величины коэффиціентовъ крѣпости на разрывъ въ kg/□mm. Сплошная линія относится къ медленному процессу разрыва, а пунктированная—къ обычной длительности процесса разрыва.

Изъ этой діаграммы ясно видно, что для пара съ давленіемъ въ 20 атмосферъ, а тѣмъ болѣе для пара, перегрѣтаго до 350° Цельзія, красная мѣдь *совершенно не годится*, почему въ настоящее время она вездѣ и замѣнена желѣзомъ и сталью.

§ 92. Подобно желѣзнымъ трубамъ мѣдныя трубы могутъ быть также раздѣлены на два класса:

1). Трубы, получаемыя изъ *одного цѣльнаго куска* металла, путемъ выдавливанія, прокатки и пр.; всѣ такія трубы вообще носятъ названіе трубъ **цѣльнотянутыхъ.**

2). Трубы, составленныя по окружности *изъ частей*, которыя обыкновенно имѣютъ первоначально форму листовъ; такія трубы могутъ быть образованы путемъ *склепыванія* листовъ или же путемъ *спаиванія* ихъ посредствомъ припоя; клепаныя мѣдныя трубы въ настоящее время почти не употребляются и главнымъ образомъ изъ трубъ этого класса встрѣчаются въ практикѣ трубы *паяныя.*

Разсмотримъ сперва трубы этого второго класса, именно, паяныя.

Паяныя мѣдныя трубы.

Прямыя паяныя мѣдныя трубы, которыя обыкновенно бываютъ не особенно значительнаго діаметра (такъ, до 250mm), составляются по окружности изъ одного листа, который сгибается въ цилиндръ надлежащаго діаметра и у котораго продольный шовъ спаивается. Спайка обыкновенно дѣлается въ напускъ, подобно тому, какъ сварка у желѣзныхъ трубъ, и здѣсь поверхность спайки работаетъ, такъ сказать, на срѣзъ, подобно тому, какъ поверхность сварки при желѣзныхъ трубахъ. Относительно сопротивленія припоя нѣкоторыя данныя были приведены на стр. 114.

Составы припоевъ тоже были указаны ранѣе, на стр. 114—115. Къ сказанному тамъ прибавимъ здѣсь еще слѣдующее. Обычнымъ составомъ припоя для пайки мѣдныхъ паропроводныхъ трубъ является въ большинствѣ случаевъ такой: 50 частей мѣди и 50—цинка. Иногда прибавляютъ еще 0,5% олова. При пайкѣ припоемъ является въ высшей степени важнымъ—достигнуть того, чтобы припой и во время пайки *остался съ тѣмъ же составомъ*, который онъ имѣлъ первоначально; весьма нерѣдко бываетъ, что изъ припоя, если операція пайки ведется слишкомъ медленно, выгараютъ болѣе летучія части (цинкъ) и тогда прочность спаяннаго мѣста можетъ пострадать. Этимъ же объясняется и то обстоятельство, что часто разныя лица хвалятъ припои различныхъ составовъ, и наоборотъ, съ припоями того же состава получаютъ разные результаты въ смыслѣ крѣпости. Это зависитъ отъ того, что у однихъ цинкъ болѣе или менѣе выгаралъ, у другихъ—нѣтъ.

Въ настоящее время употребленіе мѣдныхъ паяныхъ трубъ для паропроводовъ большого діаметра и значительнаго давленія, а тѣмъ болѣе—перегрѣтаго пара, крайне сократилось и такія трубы признаются опасными, а для перегрѣтаго пара—совершенно недопустимыми, ибо при высокой температурѣ пара припой теряетъ свою прочность; иногда же бываютъ и такіе случаи, что изъ припоя постепенно выдѣляется отъ разъѣданія цинкъ, а остается въ немъ лишь мѣдь въ видѣ хрупкаго ноздреватаго вещества, и результатомъ являются взрывы, подобные ужасному взрыву на суднѣ „Prodano“, гдѣ 4 человѣка заплатили жизнью за такой выѣденный припой. Этотъ случай произошелъ въ 1897 году и подробно изслѣдованъ проф. Arnold, Шеффильдъ. Весьма поучитель-

ные результаты микрографическаго и химическаго изслѣдованія интересующіеся найдутъ въ журналѣ „The Engineer“ за 1898 годъ, April 15, а также въ журналахъ „Engineering News“, 1898 годъ, May 19, или „Engineering“, 1898 годъ, Apr. 15.

Сущность результатовъ, къ которымъ пришелъ Арнольдъ, слѣдующая. Первоначально припой трубы судна „Prodano“ былъ здоровый, хорошо сдѣланный и хорошаго состава. Взрывъ произошелъ вслѣдствіе того, что постепенно одна часть цинка припоя совершенно исчезла, а оставшаяся вся обратилась въ окись и припой превратился въ хрупкую губчатую массу металлической мѣди, въ порахъ которой сидѣла окись цинка. Причиной разъѣданія было электролитическое дѣйствіе содержавшихся въ водѣ жирныхъ кислотъ, попавшихъ, очевидно, изъ паровыхъ цилиндровъ, смазка которыхъ содержала эти кислоты.

Давленіе въ трубѣ было 130 фунтовъ на □ дюймъ.

На основаніи сказаннаго, теперь употребляютъ для паропроводовъ трубы цѣльнотянутыя, которыя являются болѣе надежными.

Цѣльнотянутыя и цѣльныя мѣдныя трубы.

Цѣльныя трубы безъ шва изготовляются или различными процессами *прокатки* и *волоченія*, иногда похожими на такіе же способы для желѣзныхъ трубъ, а иногда и тождественными съ ними, или же получаются особеннымъ электролитическимъ путемъ, посредствомъ процесса гальванопластики, какъ напр. трубы *Эльмора*.

Главнѣйшіе способы полученія цѣльнотянутыхъ мѣдныхъ трубъ слѣдующіе.

1). **Косая прокатка по способу Маннесманновъ**. Въ то время какъ при изготовленіи желѣзныхъ и стальныхъ трубъ оказалось удобнымъ получать на Маннесмановскомъ станкѣ только короткія и толстыя пустотѣлыя болванки. а затѣмъ раскатывать ихъ уже на особомъ станкѣ „Пильгервальценъ“, при изготовленіи трубъ изъ красной мѣди и ея сплавовъ (латуни, бронзы) представляется, повидимому, удобнымъ получать путемъ косой прокатки довольно длинныя и тонкія трубы, которыя затѣмъ прямо можно уже подвергать волоченію въ холодномъ состояніи, если желаютъ получить трубы малаго діаметра. Такимъ способомъ готовитъ трубы напр. заводъ C. Heckmann въ Дюисбургѣ.

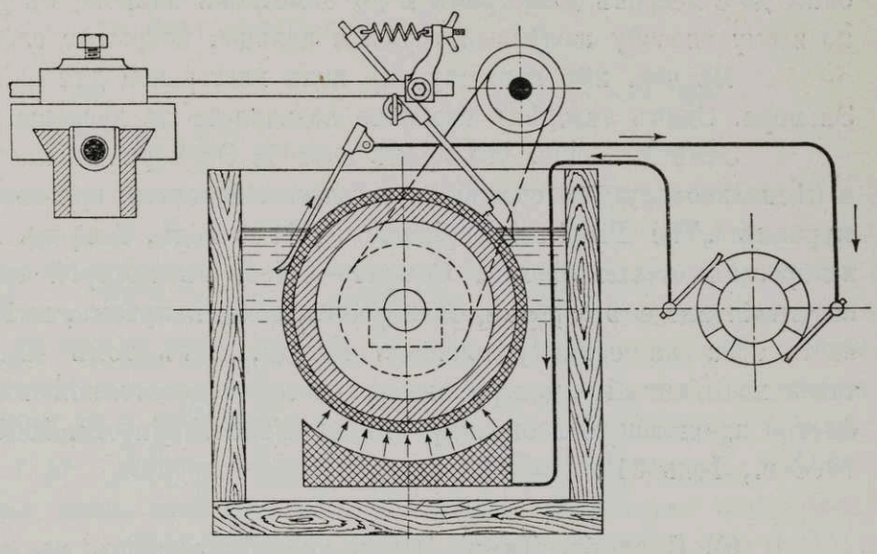
2). **Штамповка трубъ**. Производится совершенно такъ же, какъ и при желѣзныхъ трубахъ; этимъ путемъ готовятся между прочимъ, гильзы для ружейныхъ и т. п. патроновъ изъ мѣди, латуни и пр. мѣдныхъ сплавовъ.

3). **Прокатка на оправкѣ**, которой предшествуетъ полученіе пустотѣлой болванки путемъ отливки; при латунныхъ трубахъ отливка удается сравнительно хорошо, при мѣдныхъ (красной мѣди) получить болванку безъ пузырей и раковинъ очень трудно. Болванки идутъ въ прокатку на оправкѣ или чисто обточенными внутри и снаружи, или же прямо изъ литья, только очищенными и обрубленными.

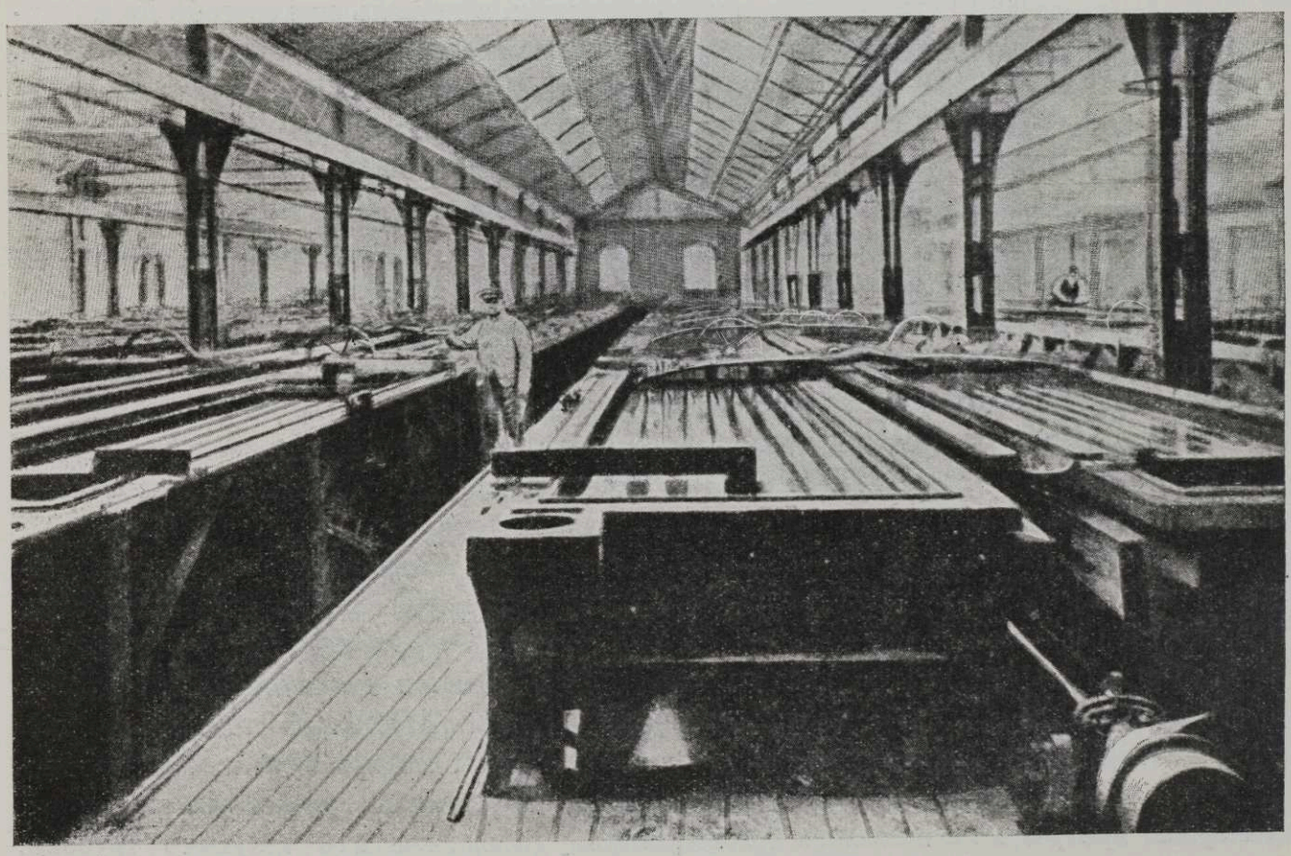
4). **Способъ Робертсона**, при которомъ сквозь зажатый въ особомъ клуппѣ цилиндръ прогоняютъ помощію пресса оправку около 70mm въ діаметрѣ, а затѣмъ и оправки бо́льшаго діаметра, такъ до 140mm. При этомъ одно что нибудь, или оправка или болванка, медленно вращается. Способъ этотъ примѣняется, напр., заводомъ „Metallwerke, vormals J. Aders, въ Магдебургѣ. Кстати сказать, онъ примѣняется и при желѣзныхъ или стальныхъ трубахъ. Для полученія тонкихъ трубокъ, какъ и вездѣ, прибѣгаютъ къ волоченію затѣмъ въ холодномъ состояніи.

5). **Способъ Эльмора**. За послѣдніе годы значительное распространеніе получили трубы, изготовленныя по способу Эльмора. Сущность этого способа состоитъ въ

томъ, что труба готовится осажденіемъ мѣднаго слоя на вращающуюся цилиндрическую оправку, погруженную въ ванну изъ раствора мѣднаго купороса, т. е. путемъ чистѣйшей гальванопластики. Пришлось сдѣлать лишь одно усовершенствованіе. Именно, при обычномъ осажденіи мѣди изъ ванны давленіе, такъ сказать, подъ которымъ садится мѣдь на катодъ, обусловленное лишь химическимъ дѣйствіемъ, такъ незначительно, что вещь выходитъ очень рыхлой, непрочной, и такая труба не годилась бы никуда. Для того, чтобы уплотнить этотъ слой постоянно осѣдающей мѣди Эльморъ придумалъ весьма простое и грубое, такъ сказать, средство, которое, однако, оказалось очень удачнымъ. Именно, надъ непрерывно вращающейся оправкою, на которую осѣдаетъ мѣдь, онъ поставилъ параллели и пустилъ по нимъ суппортъ, ходящій вдоль оси трубы взадъ и впередъ. На этомъ суппортѣ имѣется особая агатовая лапка или гладилка, которая пружиною прижимается къ мѣдной поверхности непрерывно наростающаго слоя мѣди и постоянно уплотняетъ и проглаживаетъ его, чер. 205. Такимъ



Чер. 205.



Чер. 206.

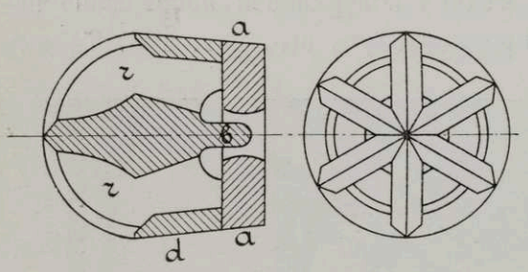
образомъ образуется плотная и крѣпкая мѣдная труба, по прочности не уступающая мѣдной трубѣ, полученной обычными процессами ковки и прокатки. Подробности относительно способа Эльмора можно найти въ моемъ сообщеніи, въ Бюллетеняхъ Политехни-

ческаго Общества за 189$^{4}/_{5}$ годъ, № 4. Детали способа, какъ то: поддержаніе постоянства раствора помощію мѣдныхъ зеренъ, наложенныхъ на дно ванны, быстрота процесса и незначительность затраты на него тока, который при анодѣ изъ мѣдныхъ зеренъ не тратится на разложеніе, а тратится лишь какъ бы на то, чтобы только раздробить мѣдь и поднять ее со дна ванны до высоты оправки и пр., очень интересны и заслуживаютъ вниманія. По способу Эльмора получаютъ теперь даже большіе мѣдные барабаны до 4 метровъ діаметромъ и до 5 метровъ длиною; съ удобствомъ также получаютъ по этому способу желѣзныя трубы и вальцы, покрытые слоемъ мѣди.

На чер. 206 представленъ видъ мастерской для изготовленія трубъ по способу Эльмора. Одинъ человѣкъ свободно надзираетъ за десятью ваннами.

Замѣтимъ еще, что кромѣ способа Эльмора въ настоящее время имѣется еще и нѣсколько другихъ способовъ электролитическаго приготовленія мѣдныхъ трубъ. Въ журналѣ „The Practical Engineer“ за 1905 годъ, Августъ 25 (и слѣд.) имѣется очень интересная статья Sherard Cowper—Coles, въ которой описываются новые процессы полученія листовъ и трубъ электролитическимъ путемъ, имѣющіе цѣлію увеличить плотность тока на единицу площади катода, и въ томъ числѣ способъ самого автора, такъ называемый „центробѣжный способъ“, состоящій въ осажденіи мѣди на очень быстро вращающуюся оправку (см. еще „The Engineer“, 1907 г., Май 10 и „Engineering“ 1908 г., Іюль 31).

6). **Способъ Дика.** Этотъ способъ введенъ въ употребленіе около 10 лѣтъ тому назадъ. Сущность его состоитъ въ томъ, что труба выдавливается прессомъ сквозь кольцевое отверстіе, совершенно подобно тому, какъ это дѣлается при полученіи свинцовыхъ трубъ, или при изготовленіи пустотѣлаго кирпича. Только свинецъ выдавливается въ холодномъ состояніи, а металлъ при способѣ Дика (трубы готовятся или изъ красной мѣди или изъ дельта-металла)—въ сильно нагрѣтомъ, такъ что онъ представляетъ пластичную массу и подъ давленіемъ пресса можетъ течь.



Чер. 207.

Мундштукъ, сквозь который течетъ металлъ, устроенъ у Дика такимъ образомъ, что внутри кольцевого отверстія въ матрицѣ *a* (чер. 207) помѣщена оправка *b*, благодаря которой и образуется труба. Эта оправка поддерживается *не спереди*, не съ той стороны, куда пойдетъ готовая труба, а **сзади**, совершенно такъ же, какъ и при изготовленіи пустотѣлаго кирпича. Оправка поддерживается шестью ребрами *r*, *r*, составляющими одно цѣлое съ круглой оболочкой *d*, которая плотно примыкаетъ къ плоской матрицѣ *a*. Очевидно, при теченіи металла изъ цилиндра пресса, на оконечности котораго и помѣщается весь этотъ мундштукъ, струя металла будетъ ребрами *r*, *r* *разрѣзана* по длинѣ на шесть отдѣльныхъ полосъ или струй. Но Дикъ нашелъ, что благодаря полному отсутствію воздуха внутри массы металла, идущей сквозь мундштукъ, разрѣзанныя такимъ образомъ полосы *опять свариваются* послѣ того, какъ прошли между ребрами и вступили въ кольцевую щель, и на изготовленной такимъ образомъ трубѣ не замѣтно даже никакихъ слѣдовъ разрѣза. О томъ, насколько крѣпко свариваются опять полосы можно судить по тому, что при пробахъ полученныхъ по способу Дика латунныхъ трубокъ на разрывъ внутреннимъ давленіемъ напряженіе матеріала при разрывѣ оказалось больше, чѣмъ у обыкновенныхъ тянутыхъ трубокъ, что̀ указываетъ на повышеніе крѣпости матеріала благодаря процессу прессовки.

По способу Дика готовятся, главнымъ образомъ, различныя сплошныя и пустотѣлыя трубы и стержни изъ дельта-металла; трубы имѣютъ и простое кольцевое и ребристое сѣченіе, съ ребрами внутри и снаружи, и шестигранное и пр.

Нѣкоторыя подробности о способѣ Дика можно найти у Дигеля, и въ Англій-

скихъ журналахъ: „The Practical Engineer“, 1899 г., August 25 и 1901 г., May 10, или „Engineering“, 1899 г., Jan. 6.

Теперь скажемъ нѣсколько словъ относительно свойствъ мѣди, какъ матеріала для трубъ.

§ 93. Формальныя требованія, предъявляемыя къ красной мѣди, идущей для приготовленія трубъ, суть, въ среднемъ, слѣдующія:

Коэффиціентъ крѣпости . . . . . отъ 20,5 до 21 kg/□mm,
Полное удлиненіе при разрывѣ . . . „ 30 „ 35 %.

Но кромѣ этихъ формальныхъ требованій необходимо обращать вниманіе еще и на нѣкоторыя обстоятельства изготовленія мѣдныхъ листовъ и мѣдныхъ трубъ, такъ какъ отъ этихъ побочныхъ причинъ въ значительной степени зависитъ прочность и безопасность построенныхъ изъ красной мѣди вещей, а въ особенности паропроводовъ.

Продажная мѣдь почти никогда не бываетъ чиста; изъ примѣсей, которыя встрѣчаются въ ней, *мышьякъ* не оказываетъ особеннаго вліянія даже и въ количествѣ около 0,5% и даже, повидимому, улучшаетъ крѣпость мѣди; но зато висмутъ крайне вреденъ, и примѣсь даже 0,1% висмута дѣлаетъ мѣдь совершенно никуда негодной, такъ какъ при температурѣ около 100° Цельзія такая мѣдь теряетъ уже почти совершенно и крѣпость и мягкость *. Примѣсь *свинца* въ количествѣ не болѣе 0,1% не вредитъ, но бо́льшія количества нежелательны; никель и серебро, повидимому, не приносятъ вреда. *Сурьма*—вредна.

Весьма важное вліяніе на мягкость мѣди, если она получена путемъ плавки, имѣетъ присутствіе въ ней вполнѣ опредѣленнаго количества *кислорода;* какъ недостатокъ, такъ и избытокъ кислорода дѣлаютъ мѣдь жесткой; вслѣдствіе этого нерѣдко нагрѣвъ мѣди въ возстановляющемъ пламени производитъ совершенно такое же дѣйствіе, какъ и пережогъ мѣди, и какъ при отжигѣ, такъ и при пайкѣ мѣди надо имѣть это въ виду.

Большое вліяніе на крѣпость и мягкость мѣди имѣетъ степень отжига мѣди, и для сравненія различныхъ испытаній мѣдныхъ образцовъ слѣдовало бы установить какую либо норму отжига. Отжигъ мѣди есть операція *очень трудная* и произвести его вполнѣ равномѣрно и въ надлежащей степени по всей длинѣ трубы или колѣна очень нелегко **. А между тѣмъ, мѣдная труба только тогда и можетъ считаться надежною, когда она хорошо отожжена, равномѣрно по всей своей длинѣ. Однако, операція эта производится и теперь еще довольно примитивными способами. Для пароходныхъ мѣдныхъ трубопроводовъ въ особенности опасно то обстоятельство, что часто заводы вовсе не производятъ отжига трубъ, а при припаиваніи флянцевъ къ такой трубѣ концы ея, гдѣ производилось припаиваніе, конечно, будутъ отожжены. Когда такая труба начнетъ работать въ условіяхъ, указанныхъ ранѣе, то, конечно, все вліяніе расширенія трубопровода обрушится почти исключительно на мягкія, отожженыя мѣста трубы возлѣ флянца, и труба здѣсь и будетъ со временемъ изломана, какъ это и наблюдается въ дѣйствительности.

Повидимому, даже въ 1900 году и въ такой промышленной странѣ какъ Англія, законодательство по этому вопросу не стояло на должной высотѣ, такъ какъ Мильтонъ

---

* Весьма интересныя подробности по вопросу о свойствахъ мѣди и вообще о мѣдныхъ трубахъ имѣются въ двухъ докладахъ Англійскаго инженера *Мильтона* и преніяхъ по поводу этихъ докладовъ („Engineering“, 1895 г., April 5 и 12 и тотъ же журналъ, 1899 г., April 7 и March 31).

** тѣмъ болѣе, что разные сорта мѣди требуютъ и разной температуры нагрѣва, и иногда приходилось нагрѣвать мѣдь до 1100° Цельзія, чтобы дѣйствительно отжечь ее!

Нѣкоторыя новыя интересныя данныя относительно отжига мѣдныхъ трубъ можно найти въ журналѣ „The Practical Engineer“, 1909 г., February 12, стр. 212.

въ упомянутыхъ выше двухъ докладахъ, и многіе другіе инженеры, принимавшіе участіе въ преніяхъ, горько жалуются на то, что и правительство, и частныя пароходныя общества очень сурово относятся къ новинкѣ—желѣзнымъ и стальнымъ трубамъ—и требуютъ для нихъ такихъ суровыхъ пробъ, что если бы только часть такихъ же суровыхъ требованій предъявлялась къ мѣднымъ трубамъ, то были бы, навѣрное, избѣгнуты тѣ сотни взрывовъ, о которыхъ говорилось раньше. Но для мѣдныхъ трубъ почти никакихъ требованій не предъявлялось, а полагались на совѣсть заводчика.

Къ счастію, теперь мѣдныя трубы просто замѣнены желѣзными и стальными, такъ что въ дальнѣйшія подробности входить намъ нѣтъ надобности.

Но, какъ это и всегда бываетъ, люди не рѣшились сразу разстаться съ тѣмъ, къ чему привыкли; когда мѣдныя трубы стало часто рвать и ломать, то вмѣсто того, чтобы сразу перейти къ желѣзнымъ или стальнымъ трубамъ, стали мѣдныя трубы „усиливать“, обматывая ихъ проволокой, или же стягивая обручами на подобіе описанныхъ ранѣе чугунныхъ трубъ Рожé. Сколь ни наивна такая конструкція, какъ труба, обернутая проволокой, но она держалась въ практикѣ нѣсколько лѣтъ и даже въ послѣдніе годы требовалась (если не требуется и теперь!) правилами нѣкоторыхъ Адмиралтействъ. Конечно, при разрывѣ одной проволоки вся обмотка слабѣла, если труба была обвита одной длинной проволокой; пришлось, поэтому, прибѣгнуть къ обмоткѣ *секціями*, или же къ стяжкѣ отдѣльными обручами и даже стальными проволочными канатами (см., напр., таблицу 87 *Атласа*). Разумѣется, возможно было и здѣсь достигнуть успѣха, но чего это стоило и какъ легко все разстраивалось! Теперь—это уже дѣло прошлое (вродѣ пушекъ, тоже обмотанныхъ проволокой) и такія трубы уступили окончательно мѣсто желѣзнымъ и стальнымъ трубамъ.

Въ настоящее время употребленіе мѣдныхъ трубъ представляется, тѣмъ не менѣе, вполнѣ умѣстнымъ въ различныхъ спеціальныхъ случаяхъ, напримѣръ: для спускныхъ или дренажныхъ трубокъ въ паровыхъ машинахъ, для проводки пара въ паровыя рубашки, для паропроводовъ небольшого діаметра, но сложной формы, искривленныхъ многократно, для питательныхъ трубъ паровыхъ котловъ, для проводки смазки и пр., вообще во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется имѣть небольшія трубки довольно сложной изогнутой формы и гдѣ иногда (паропроводы) требуется все таки матеріалъ довольно прочный. Но въ качествѣ матеріала для паропроводовъ большого діаметра, для пара высокаго давленія, и тѣмъ болѣе—сильно перегрѣтаго, мѣдь отжила свой вѣкъ *.

§ 94. Соединенія мѣдныхъ трубъ.

Соединенія флянцами.

Подобно тому, какъ при желѣзныхъ трубахъ, и при мѣдныхъ трубахъ флянцы всегда изготовляются отдѣльно и скрѣпляются съ трубою однимъ изъ способовъ, описанныхъ въ главѣ V. Здѣсь укажемъ лишь нѣкоторыя подробности.

Флянцы для мѣдныхъ трубъ дѣлаются почти всегда изъ бронзы. Соединяются они съ трубою слѣдующими способами: припаиваніемъ, приклепываніемъ, припаиваніемъ и приклепываніемъ вмѣстѣ и, наконецъ, развальцовкой. Навертываніе на рѣзьбѣ здѣсь не употребляется.

Припаиваніе флянцевъ раньше было въ большомъ ходу, но въ настоящее время уступаетъ мѣсто развальцовкѣ. При высокомъ давленіи, а тѣмъ болѣе при перегрѣтомъ

---

* Насколько упорно, однако, многіе конструкторы продолжаютъ держаться излюбленныхъ мѣдныхъ трубъ показываетъ примѣръ турбиннаго судна Creole, гдѣ въ 1907 году поставлены мѣдныя трубы въ 42 дюйма діаметромъ (!); труба спаяна изъ четырехъ листовъ. Эти трубы считаются наибольшими въ свѣтѣ мѣдными трубами.

парѣ припаиваніе является прямо недопустимымъ. Все то, что̀ сказано ранѣе относительно пайки самихъ трубъ относится и къ флянцамъ.

Для трубъ довольно значительнаго діаметра припаиваніе соединяется еще обыкновенно и съ приклепываніемъ (мѣдными заклепками). Детальныя указанія относительно такихъ флянцевъ приведены на таблицахъ 84, 85, 86, 87, 92 и 93 *Атласа*. Слѣдуетъ замѣтить, что дѣлать припаиваніе во всю высоту горла флянца и во всю толщину его (т. е. на всей длинѣ $s+b$ на фиг. 1 табл. 92)—нехорошо, такъ какъ, все равно, пропаять такую глубину—невозможно; поэтому и принято дѣлать углубленіе для припоя только на сравнительно небольшую глубину, какъ то и показано, напр., на фиг. 1—5 табл. 92.

Для того, чтобы усилить трубу возлѣ флянца противъ поперечныхъ изломовъ, дѣлали одно время горло флянца съ пальцами, т. е. у горла обычной высоты дѣлали еще нѣсколько языковъ или пальцевъ, простиравшихся вдоль трубы; такія трубы были, правда, прочнѣе на поперечный изломъ, но все таки ихъ крѣпость не можетъ идти въ сравненіе съ трубами, имѣющими развальцованные флянцы *.

Въ настоящее время, какъ сказано раньше, все болѣе входитъ въ употребленіе скрѣпленіе трубъ съ флянцемъ помощію *раскатки*, при которомъ матеріалъ трубы вдавливается въ круговыя выточки, сдѣланныя во флянцѣ; достоинства этого способа указаны ранѣе, въ главѣ о желѣзныхъ трубахъ. Нѣкоторыя данныя по этому вопросу приведены въ Нормахъ Лёвекина, помѣщенныхъ ранѣе, въ желѣзныхъ трубахъ; размѣры бронзовыхъ флянцевъ онъ считаетъ возможнымъ брать прямо по таблицѣ, т. е. такими же, какъ и для стальныхъ флянцевъ.

Кромѣ соединенія съ развальцовкой, при мѣдныхъ трубахъ еще въ большомъ ходу соединеніе при помощи флянцевъ, цѣпляющихся за закраины, отложенныя на трубѣ, подобно тому, какъ это дѣлается и при желѣзныхъ трубахъ. Закраины могутъ быть или отложены изъ самой трубы, или же изъ болѣе толстой части, припаянной къ трубѣ, какъ напр. на фиг. 4 и 5 табл. 90, гдѣ даны нѣкоторые размѣры такихъ закраинъ. Для тонкостѣнныхъ мѣдныхъ и латунныхъ трубъ примѣняются иногда и болѣе сложныя формы соединеній съ закраинами, какъ на фиг. 10 табл. 91 и на фиг. 3, 4 и 5 той же таблицы.

Слѣдуетъ замѣтить, что въ подобныхъ соединеніяхъ, съ вольными флянцами, флянцы могутъ быть и не изъ бронзы, какъ то необходимо при припаевыемыхъ флянцахъ, а могутъ быть и желѣзными и стальными и даже чугунными (опасность отъ чугунныхъ флянцевъ видна на примѣрѣ „Бранденбурга“, о чемъ см. далѣе, въ расширителяхъ).

Соединенія **раструбами** при мѣдныхъ трубахъ не употребляются. Для небольшихъ трубъ вмѣсто соединеній муфтами на рѣзьбѣ, которыя здѣсь мало пригодны по причинѣ мягкости мѣди, употребляютъ различныя *спеціальныя* соединенія, гдѣ сперва помощію припаиванія закраинъ и т. п. соединяютъ съ трубами болѣе твердыя бронзовыя части, а затѣмъ уже эти части соединяются помощію *муфтъ на рѣзьбѣ*. Цѣлый

---

* Утеманнъ въ Журналѣ Нѣмецкихъ Инженеровъ (1906 годъ, № 47) описываетъ очень интересные опыты, произведенные съ непрерывнымъ отгибомъ ущемленныхъ за флянецъ мѣдныхъ трубъ, и продѣланные съ трубой въ настоящихъ условіяхъ работы; труба наполнена паромъ съ давленіемъ въ 11 атмосферъ и постоянно подвергалась прогибу въ ту и другую сторону посредствомъ кривошипнаго механизма отъ привода. При простомъ припайномъ флянцѣ уже послѣ восьми часовъ работы появилась характерная поперечная трещина возлѣ флянца и труба стала парить; при припайномъ флянцѣ съ пальцами у горла труба сломалась черезъ $12^1/_2$ часовъ, а при развальцованномъ флянцѣ (развальцовка была съ выточкой, такая, какая показана на чер. 170 книги) труба послѣ $65^1/_2$ часовъ оказалась совершенно крѣпкой и не текла, какъ двѣ предыдущія. Это достаточно говоритъ въ пользу развальцовки, которая теперь получила громадное распространеніе.

рядъ такихъ разнообразныхъ соединеній и детальные размѣры ихъ приведены на слѣдующихъ таблицахъ:

Табл. 90, фиг. 10 и 9; табл. 91, фиг. 1, 2, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13—16; табл. 93, фиг. 1.

Слѣдуетъ упомянуть, что небольшія мѣдныя трубы, въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ не требуется частой разборки, соединяютъ иногда попросту при помощи припаиванія, какъ показано на фиг. 23—26 табл. 91 *Атласа*.

Изъ спеціальныхъ конструкцій мѣдныхъ трубъ укажемъ здѣсь только на гибкія ресиверныя трубы компаундъ-паровозовъ системы Маллета, которыя помѣщены на табл. 94, фиг. 2 и табл. 92, фиг. 8—11. Въ этихъ паровозахъ, которые теперь получили очень большое распространеніе, машины двойного расширенія расположены такимъ образомъ, что цилиндры высокаго давленія прикрѣплены къ одной телѣжкѣ паровоза, а цилиндры низкаго давленія—къ другой, которая при проходѣ кривыхъ можетъ поворачиваться относительно первой на значительный уголъ, а также можетъ подпрыгивать относительно ея. Такимъ образомъ, ресиверъ или труба, ведущая паръ изъ цилиндровъ высокаго давленія въ цилиндры низкаго давленія, должна быть устроена такимъ образомъ, чтобы позволять сказанныя перемѣщенія. Этого достигаютъ или устраивая ресиверъ съ шаровымъ шарниромъ и скользящимъ расширителемъ, или дѣлая его гибкимъ. Гибкіе ресиверы до послѣдняго времени дѣлались изъ мѣди. Первая идея такой гибкой ресиверной трубы, позволяющей и перемѣщенія вдоль оси и наклоны трубъ, принадлежитъ, повидимому, Legat, который взялъ въ 1888 году патентъ на ресиверъ въ видѣ гармоники. Одна изъ первыхъ практически осуществленныхъ конструкцій показана на фиг. 2, табл. 94 *Атласа;* она выполнена заводомъ Maffei, въ Мюнхенѣ; гибкая часть ресивера состоитъ изъ ряда склепанныхъ между собою мѣдныхъ тарелокъ, образующихъ вмѣстѣ родъ мѣха или круглой гармоники. Слабое мѣсто этой конструкціи составляетъ клепка; впослѣдствіи она была замѣнена пайкою и такая паяная труба видна на фиг. 8—11, табл. 92.

О латунныхъ трубкахъ и подобныхъ имъ трубкахъ изъ сплавовъ мѣди говорить особо не будемъ. Онѣ играютъ сравнительно небольшую роль, и о приготовленіи такихъ трубъ, паяныхъ и цѣльнотянутыхъ, сказано въ настоящей главѣ при описаніи фабрикаціи мѣдныхъ трубъ, а относительно соединеній въ *Атласѣ* имѣется достаточно указаній.

Относительно **сгибанія мѣдныхъ трубъ** можно повторить почти то же, что было сказано раньше относительно желѣзныхъ; нѣкоторыя данныя были приведены тамъ же. Мѣдныя трубы при сгибаніи наполняютъ обыкновенно канифолію или свинцомъ.

Если требуются колѣна очень малаго радіуса, то ихъ не гнутъ изъ цѣльной прямой трубы, а спаиваютъ изъ двухъ половинокъ, каждая изъ которыхъ выбита особо изъ листа, и потому можетъ быть сдѣлана въ видѣ полуколѣна съ весьма малымъ радіусомъ закругленія; данныя относительно такихъ мѣдныхъ колѣнъ приведены на табл. 90 *Атласа*.

§ 95. Поломки мѣдныхъ трубъ.

Въ нижеслѣдующемъ спискѣ приводимъ поломки мѣдныхъ трубъ только одного Англійскаго флота, по отчетамъ Board of Trade. Какъ сказано ранѣе, въ Англіи, по Парламентскимъ Актамъ 1882 и 1890 годовъ, ведется правильная регистрація поломокъ паропроводовъ и ихъ принадлежностей, такъ какъ эти поломки подведены подъ понятіе взрыва котла. Всѣ 104 примѣра относятся, такимъ образомъ, исключительно къ пароходнымъ паропроводамъ.

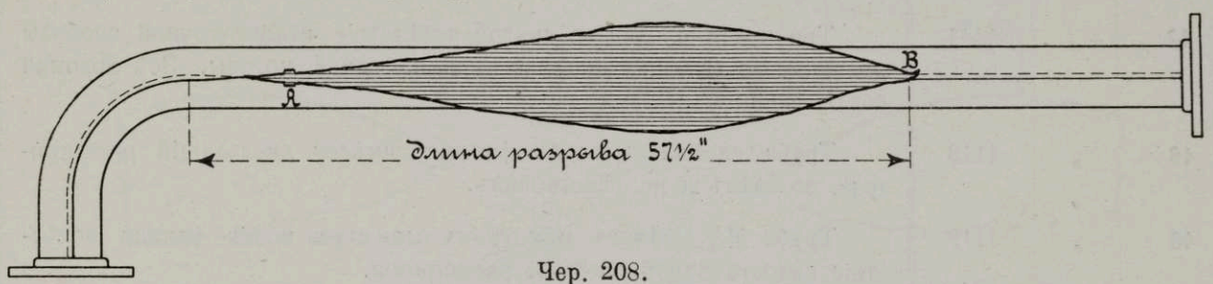
Для краткости, терминомъ *„недостаточная свобода расширенія“* обозначается, согласно Англійскому оригиналу, не только то обстоятельство, что труба не могла достаточно безпрепятственно измѣнять свою длину и форму вслѣдствіе измѣненій температуры, но также этимъ обозначается и недостаточная гибкость трубы при измѣненіяхъ ея длины и формы, обусловленныхъ и другими причинами, какъ то: деформаціями корпуса судна при качкѣ, деформаціями машинъ и котловъ и ихъ относительными перемѣщеніями при качкѣ и бросаніи машинъ отъ вылѣзанія винта изъ воды и пр.

Въ примѣрахъ, обусловленныхъ такою недостаточною гибкостью трубы, терминъ **„поломка трубы возлѣ флянца“** обозначаетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и то, что труба сломалась поперекъ, по окружности, какъ это всегда и бываетъ въ такихъ случаяхъ.

Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
1	1890	460	Главная паровая паяная труба разорвалась по шву. Причина—плохая работа спайки трубы.
2	1891	468	Труба $5^1/_2$ дюймовъ діаметромъ разорвалась по паяному шву въ колѣнѣ. Причина—плохая пайка и присутствіе воды въ трубѣ.
3	„	480	Труба сломалась у флянца вслѣдствіе того, что расширитель не работалъ.
4	„	512	Труба 14 дюймовъ діаметромъ разорвалась по шву. Причина—скопленіе воды въ трубѣ.
5	„	530	Труба сломалась поперекъ. Причиной считаютъ присутствіе воды въ трубѣ.
6	1892	543	Труба 6 дюймовъ діаметромъ сломалась по окружности (поперекъ) возлѣ флянца паропускного вентиля. Передъ этимъ чинилась уже четыре раза. Причина — недостаточная свобода расширенія трубы.
7	„	572	Труба 8 дюймовъ діаметромъ сломалась возлѣ флянца; причиной считается присутствіе воды въ трубѣ.
8	„	578	Труба 6 дюймовъ діаметромъ разорвалась по спайкѣ.
9	„	580	Труба разорвалась вблизи паянаго шва. Причиной считается присутствіе воды въ трубѣ.
10	„	584	Труба сломалась возлѣ соединительной части. Причиной считается недостаточная свобода расширенія. Труба передъ этимъ уже чинилась нѣсколько разъ.
11	1893	657	Труба сломалась поперекъ, возлѣ флянца, вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
12	„	659	Труба сломалась возлѣ флянца; причиной считается присутствіе воды въ трубѣ.
13	1894	718	Труба сломалась поперекъ, возлѣ флянца, вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
14	„	728	Труба $4^1/_2$ дюйма діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Не задолго передъ этимъ были двѣ подобныя же поломки.

Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
15	1894	742	Труба $7^1/_2$ дюймовъ діаметромъ сломалась возлѣ флянца, вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Передъ этимъ уже разъ ломалась по той же причинѣ и была починена.
16	„	749	Труба сломалась возлѣ флянца, вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Передъ этимъ уже разъ ломалась по той же причинѣ и была починена.
17	„	767	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
18	„	772	Новая труба, послѣ 5 мѣсяцевъ работы, сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Передъ этимъ уже три раза чинилась.
19	„	775	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
20	1895	833	Соединительная часть разорвалась вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
21	„	854	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
22	„	915	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Передъ этимъ разъ уже была поломка, и труба была починена.
23	„	925	Вспомогательная паровая труба сломалась вслѣдствіе плохой припайки флянца.
24	1896	933	Главная паровая труба сломалась по спайкѣ. Причиной считается присутствіе воды въ трубѣ.
25	„	943	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
26	„	945	То же.
27	„	948	То же.
28	„	958	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Діаметръ трубы — 5 дюймовъ. Труба для усиленія имѣетъ желѣзныя кольца на разстояніяхъ въ 8 дюймовъ.
29	„	970	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Погода была очень бурная.
30	„	986	Труба $3^1/_2$ дюйма діаметромъ разорвалась вѣроятно вслѣдствіе того, что при обработкѣ была пережжона.
31	1897	992	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
32	„	1011	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
33	„	1013	То же.
34	„	1015	То же.
35	„	1021	То же.

Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
36	1897	1023	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Передъ этимъ на томъ же суднѣ было четыре такихъ же поломки.
37	„	1033	Взрывъ трубопровода на суднѣ „Prodano“, упомянутый раньше. Этотъ взрывъ имѣлъ послѣдствіемъ смерть всей машинной вахты, четырехъ человѣкъ; кромѣ того, главный механикъ при попыткѣ спасти этихъ, тоже тяжело пострадалъ. Труба разорвалась по паяному шву, какъ видно на чер. 208, на длинѣ около $57^1/_2$ дюймовъ;



Чер. 208.

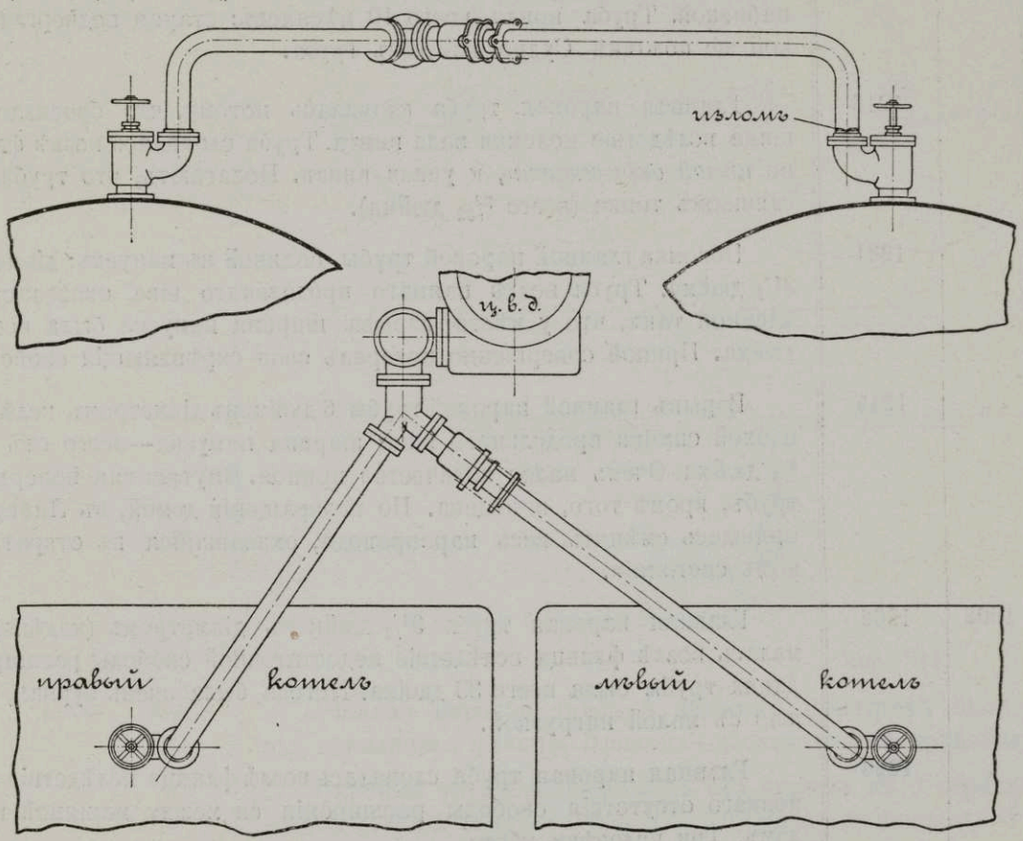
			наибольшая ширина разошедшихся краевъ—около 9 дюймовъ. Труба назначалась для давленія пара въ 160 фунтовъ на □ дюймъ. О припоѣ этой трубы говорилось подробно ранѣе, на стр. 296.
38	„	1035	Короткое колѣно было буквально вытащено изъ обоихъ своихъ флянцевъ, бывшихъ по концамъ его, и улетѣло на котелъ. Флянцы были припаяны. Причиной считается то, что на полномъ ходу сломался гребной валъ и машина, оставшись безъ нагрузки, бросилась, а это причинило сильныя дрожанія. Кромѣ того, предполагаютъ плохое качество припоя. Давленіе пара—160 фунтовъ на □ дюймъ.
39	„	1036	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Погода была бурная.
40	„	1049	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Передъ этимъ разъ уже ломалась въ томъ же мѣстѣ. За годъ двѣ поломки.
41	„	1056	Труба разорвалась отъ водяного удара, по спайкѣ и по цѣлому мѣсту. Давленіе пара—100 фунтовъ на □ дюймъ.
42	„	1057	Труба ломалась четыре раза возлѣ флянца паропускного вентиля котла. Была замѣнена новою, но и новая тоже сломалась возлѣ флянца.
43	„	1069	Три разновременныхъ поломки частей одного и того же паропровода; сломались обѣ вѣтви и главная труба лѣваго котла. Причина—недостаточная гибкость. Трубы Эльмора. *NB.* Поломокъ трубъ Эльмора довольно много и даже оспаривается пригодность ихъ для судовыхъ паропроводовъ.
44	„	1073	Труба три раза ломалась возлѣ флянца; при первой починкѣ трубу обрѣзали на 2 дюйма и напаяли новый флянецъ; при второй починкѣ поставили новый кусокъ; труба сломалась третій разъ. Труба была Эльмора. Причина—недостаточная свобода расширенія. Послѣ этой поломки трубы выбросили и поставили цѣльнотянутую и сдѣлали скользящій расширитель.
45	1898	1095	Труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.

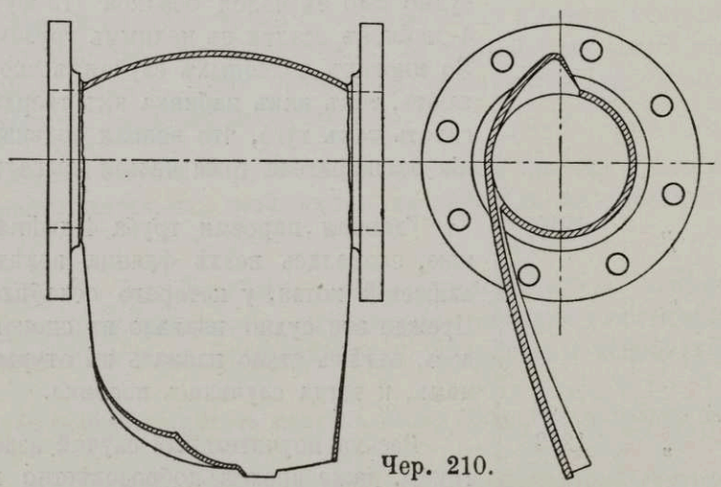
Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
46	1898	1110	Труба разорвалась вдоль, по спайкѣ. Одинъ кочегаръ убитъ и одинъ тяжело раненъ. Напускъ листовъ въ мѣстѣ спайки былъ всего $^5/_{16}$ дюйма при толщинѣ стѣнки въ $^3/_{16}$ дюйма. Такой напускъ слишкомъ малъ *. Труба работала 5 лѣтъ безъ осмотра и гидравлической пробы **. Разрывъ произошелъ такъ: на длинѣ 13 дюймовъ разрывъ идетъ по паяному шву, а затѣмъ на длинѣ 5 дюймовъ—по цѣлому мѣсту. Почти всю воду изъ котла выкинуло черезъ разрывъ въ кочегарку.
47	„	1111	Три поломки одна за другой вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія; двѣ произошли во время бурной погоды. Всѣ поломки возлѣ флянцевъ.
48	„	1113	Труба сломалась возлѣ флянца; имѣлся скользящій расширитель, но заѣлъ и не дѣйствовалъ.
49	„	1119	Труба $5^1/_2$ дюймовъ діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
50	1900†	1160	Поломка главной паровой трубы вслѣдствіе бурной погоды; машины бросались; судно шло съ небольшимъ грузомъ. Причина—недостаточная свобода расширенія. Это уже вторая поломка.
51	„	1164	Главная паровая труба сломалась вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Передъ этимъ труба уже два раза ломалась, у обоихъ концовъ, но расширителей и послѣ этого все таки не поставили. Давленіе пара—160 фунтовъ на □ дюймъ.
52	„	1172	Поломка главной паровой трубы. Благодаря двумъ прежнимъ поломкамъ поставили скользящій расширитель. Черезъ восемь мѣсяцевъ опять поломка. Черезъ три мѣсяца опять описываемая, послѣдняя поломка. Всѣ изломы—возлѣ флянцевъ, по окружности. Послѣдній разъ длина трещины была 18 дюймовъ. Послѣ этого поставили пружины подъ предохранительные болты расширителя.
53	„	1181	Поломка трубы вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
54	„	1185	Главная паровая труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. За годъ передъ этимъ уже была подобная поломка. Былъ скользящій расширитель, но, повидимому, не работалъ надлежащимъ образомъ.
55	„	1187	Главная паровая труба сломалась возлѣ флянца. Былъ скользящій расширитель, но, повидимому, не работалъ надлежащимъ образомъ. *NB.* По поводу обоихъ этихъ случаевъ можно замѣтить, что предохранительные болты скользящаго расширителя могутъ быть причиной опасности, если гайки ихъ установлены неправильно.

* Для мѣдныхъ трубъ рекомендуется дѣлать напускъ около 30mm, если только діаметръ трубы не будетъ очень малъ.

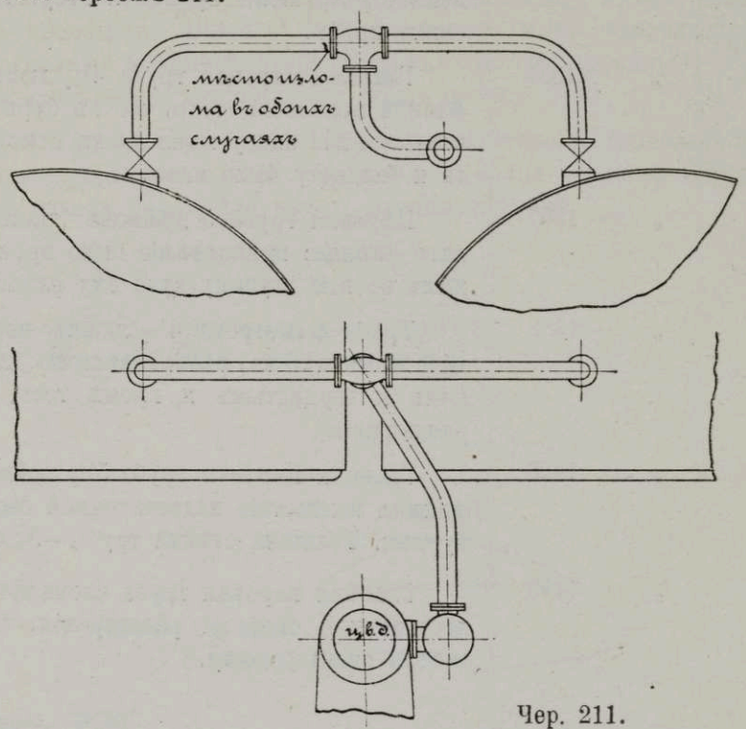
** Періодическіе и довольно частые осмотры трубъ, съ непремѣннымъ снятіемъ ихъ одежды, и гидравлическія пробы рекомендуются инспекторами такихъ крупныхъ Англійскихъ учрежденій, какъ Lloyd, Board of Trade и др.

† Начиная съ этого примѣра пришлось пользоваться другимъ литературнымъ источникомъ, и потому здѣсь даны во всемъ дальнѣйшемъ не года самого происшествія, а года напечатанія отчетовъ въ журналѣ. Но всѣ случаи взрывовъ идутъ безъ перерыва; годъ взрыва обыкновенно годомъ меньше года показаннаго здѣсь. Поэтому и появился перерывъ, нѣтъ 1899 года, такъ какъ его взрывы показаны здѣсь въ 1900 году.

Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
56	1901	1207	Поломка главной паровой трубы вслѣдствіе вибрацій въ бурную погоду. Произошла 29 Ноября 1899 г. Передъ этимъ было двѣ поломки, въ Февралѣ и въ Маѣ 1899 г. Оба раза судно ходило съ малымъ грузомъ и въ бурную погоду; машины бросались. Послѣ этого поставили скользящій расширитель, какъ видно на чер. 209, и прошла третья, описываемая поломка возлѣ флянца. И въ этотъ разъ судно шло съ малой осадкой (13 футъ 6 дюймовъ вмѣсто 23 футъ 4 дюймовъ осадки съ полнымъ грузомъ). Погода была очень бурная. Во многихъ подобныхъ случаяхъ скользящіе расширители не работаютъ, такъ какъ набивка ихъ твердѣетъ и болты приходится затягивать такъ туго, что всякая подвижность пропадаетъ. Расположеніе расширителя тоже нельзя назвать правильнымъ.
			
			Чер. 209.
57	„	1210	Главная паровая труба 4 дюйма діаметромъ, $^1/_4$ дюйма толщиною, сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе малой гибкости трубы и движеній котла, у котораго ослабѣли скрѣпленія съ основаніемъ. Прежде это судно плавало въ спокойной водѣ, и ничего не случалось, затѣмъ стало плавать въ открытомъ морѣ, подвергаясь штормамъ, и тогда случилась поломка.
58	„	1213	Весьма поучительный случай излома, показывающій, что мѣдныя трубы, даже вполнѣ добросовѣстно приготовленныя и испытанныя понимающими людьми, могутъ обладать скрытыми недостатками, причиняющими взрывъ при скопленіи благопріятствующихъ условій. Труба имѣла діаметръ въ $6^1/_2$ дюймовъ и толщину въ 0,276 дюйма; продольный шовъ былъ *паяный*. Двѣ китайца кочегара убиты. Продольный шовъ оказался разорваннымъ на длинѣ около 24 дюймовъ. Весьма интересныя детали относительно изготовленія этой трубы и

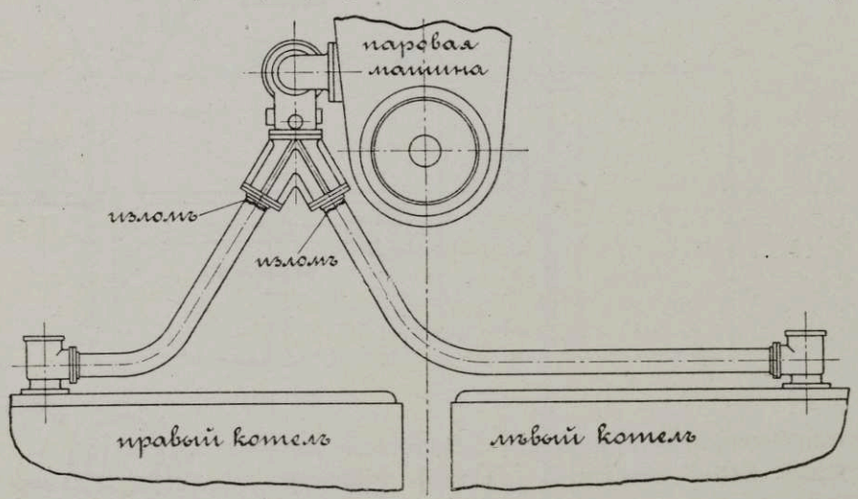
Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
			всѣхъ обстоятельствъ взрыва см. „The Practical Engineer“, 1901 г., April 12. Рабочее давленіе—170 фунтовъ. Пробное—340 фунтовъ.
59	1901	1214	Главная паровая труба 6 дюймовъ діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Длина трубы всего 4 фута 9 дюймовъ. Имѣлся скользящій расширитель съ мягкой набивкой. Труба новая, всего 10 мѣсяцевъ; старая подверглась такой же поломкѣ. Судно шло безъ груза.
60	„	1216	Главная паровая труба сломалась потому, что бросилась машина вслѣдствіе поломки вала винта. Труба сломалась возлѣ флянца, по *цѣлой окружности,* и упала внизъ. Полагаютъ, что труба была слишкомъ тонка (всего $^5/_{32}$ дюйма).
61	„	1231	Поломка главной паровой трубы, спаяной въ напускъ; діаметръ—$3^1/_4$ дюйма. Труба возлѣ паянаго продольнаго шва оказалась изъѣденной такъ, что у мѣста взрыва ширина напуска была всего $^1/_4$ дюйма. Припой совершенно потерялъ свои скрѣпляющія свойства.
62	„	1245	Взрывъ главной паровой трубы 6 дюймовъ діаметромъ вслѣдствіе плохой спайки продольнаго шва; ширина напуска—всего отъ $^1/_4$ до $^5/_8$ дюйма. Очень малое количество припоя. Внутренняя поверхность трубъ, кромѣ того, изъѣдена. По возвращеніи домой, въ Ливерпуль, пришлось смѣнить весь паропроводъ, оказавшійся въ отвратительномъ состояніи.
63	1902	1262	Главная паровая труба $9^1/_2$ дюймовъ діаметромъ (колѣно) сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Длина трубы была всего 33 дюйма. Погода была очень бурная, судно шло съ малой нагрузкой.
64	„	1296	Главная паровая труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе почти полнаго отсутствія свободы расширенія ея между машиной и котломъ. Три человѣка убито.
65	„	1310	Соединительная часть между вентилемъ и трубою разорвалась, какъ показано на чер. 210. Діаметръ—6 дюймовъ, толщина стѣнки—  Чер. 210. 0,232 дюйма. Давленіе пара 200 фунтовъ на □ дюймъ и паръ—перегрѣтый до 260° Ц. Одинъ кочегаръ убитъ, другой раненъ. *NB.* При такой температурѣ употребленіе мѣди совершенно недопустимо.
66	„	1313	Труба отъ котла къ тройнику сломалась возлѣ флянца, была починена напаяной втулкой и черезъ 5 мѣсяцевъ опять сломалась

Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
			вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Діаметръ трубы 4 дюйма, толщина—№ 6 B. W. G. Труба, ведущая въ машину, имѣетъ діаметръ $5^1/_2$ дюймовъ и толщину № 4 B. W. G. Расположеніе трубъ видно на чертежѣ 211.



Чер. 211.

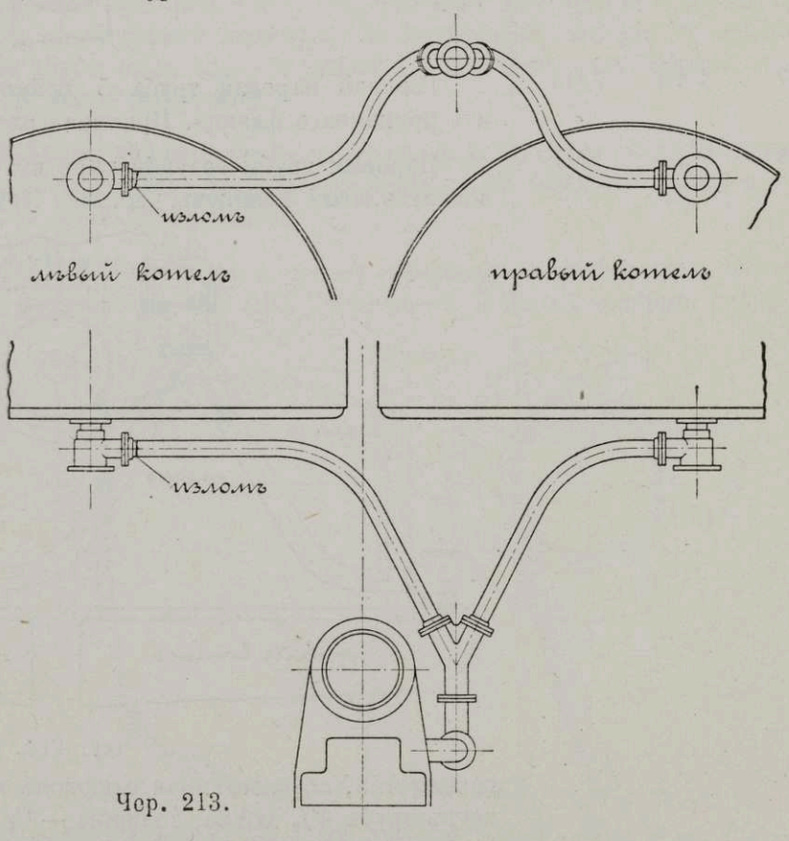
67	1903	1318	Главная паровая труба 5 дюймовъ діаметромъ была вырвана изъ припаянаго флянца. Причина—плохая работа припайки.
68	„	1327	Паровыя трубы ведущія паръ изъ котловъ къ Y-образной части ломались возлѣ флянцевъ, чер. 212. Причина—недостаточная свобода



Чер. 212.

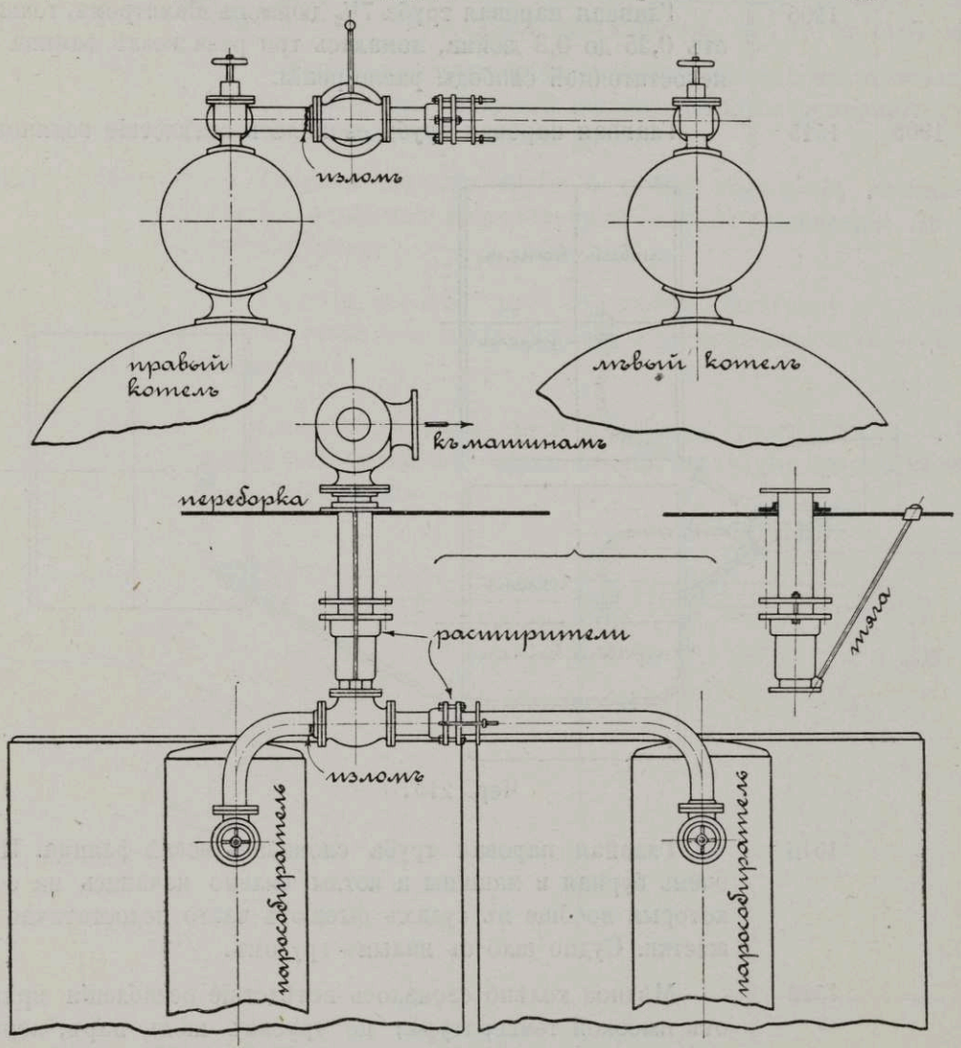
расширенія, обусловленная слишкомъ короткими разстояніями. Діаметръ трубъ $4^1/_2$ дюйма, толщина — $^1/_4$ дюйма; длина правой трубы 11 футъ, лѣвой—$5^1/_2$ футъ. Всего произошло четыре поломки. Первый разъ трубы дали трещину, затѣмъ черезъ два дня—двѣ трещины въ одинъ день. Была поставлена запасная труба, которая тоже сломалась и опять въ томъ же мѣстѣ. Погода была очень бурная и машины сильно бросались; кромѣ того, машины были слабо прикрѣплены къ основаніямъ.

Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
69	1903	1330	Главная паровая труба $3^1/_2$ дюйма діаметромъ разорвалась вдоль, по паяному шву, на длинѣ около 4 футъ. Давленіе пара—160 фунтовъ на □ дюймъ. Напускъ въ спайкѣ—$^3/_8$ дюйма. Причина—постепенное разрушеніе припоя и отсутствіе періодическихъ гидравлическихъ пробъ.
70	„	1355	Главная паровая труба $4^3/_4$ дюйма діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе того, что въ бурную погоду ослабѣли болты, привертывавшіе плиту машины къ основанію, и судно шло безъ груза, да и балласту было мало.
71	„	1367	Паровая труба 5 дюймовъ діаметромъ вырвалась изъ припаяннаго флянца; припаиваніе было произведено плохо и припой не прошелъ во всю глубину куда ему слѣдовало пройти.
72	„	1383	Труба діаметромъ $4^1/_2$ дюйма изъ мѣди, осажденной электролитическимъ путемъ, разорвалась по длинѣ. Матеріалъ оказался жесткимъ и зернистымъ и, кромѣ того, не было достаточной свободы расширенія.
73	„	1426	Главная паровая труба $5^1/_2$ дюймовъ діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Погода была бурная. Толщина стѣнки трубы—№ 4 Standard Wire Gauge.
74	„	1435	Главная паровая труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Судно шло съ малымъ грузомъ, погода очень бурная.
75	1904	1443	Главная паровая труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе того, что машины бросались и что ослабѣли болты, прикрѣплявшіе машины къ основанію. Починка этой поломки была произведена такимъ образомъ. Флянецъ выкинули, треснувшую часть трубы вырѣзали и вмѣсто того, чтобы вставить взамѣнъ ея новую, попросту



Чер. 213.

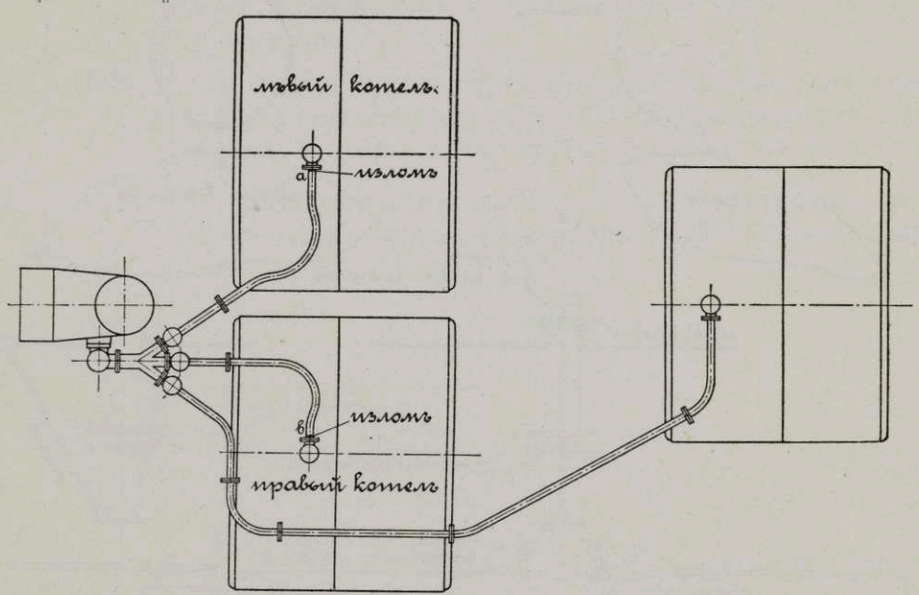
Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
			разогнули колѣно, чтобы отрѣзанная часть достала до мѣста! Была вырѣзана часть около четырехъ дюймовъ длиною. Самый разгибъ колѣнъ произвели такимъ образомъ, что притягивали флянцы длинными, нарочно сдѣланными болтами. Естественно, что въ результатѣ такого обращенія съ трубой произошла вторая поломка. Даже инспектора Board of Trade, видавшіе виды, удивились, какъ могъ главный механикъ судна допустить такую „починку“! Расположеніе трубопровода видно на чер. 213.
76	1904	1467	Главная паровая труба $1^3/_4$ дюйма діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе плохого матеріала и малой толщины стѣнки въ мѣстѣ излома ($^1/_{20}$ дюйма вмѣсто предположенной $^1/_{10}$).



Чер. 214.

77	„	1489	Труба $7^1/_2$ дюймовъ діаметромъ, ведущая отъ парособирателя праваго котла къ тройнику (колѣно) сломалась возлѣ флянца, чер. 214, вслѣдствіе неудачнаго расположенія скользящаго расширителя. Вообще такое соединеніе колѣнъ и скользящихъ расширителей, какъ здѣсь, не рекомендуется, такъ какъ для перемѣщеній трубъ поперекъ судна расширитель съ предохранительными болтами можетъ явиться причиной поломки вродѣ описываемой, если гайки предохранительныхъ болтовъ будутъ неправильно установлены. При скользящихъ расширителяхъ рекомендуется колѣнъ избѣгать, а дѣлать трубы прямыми. Погода была тихая, качаній машинъ совершенно не наблюдалось.

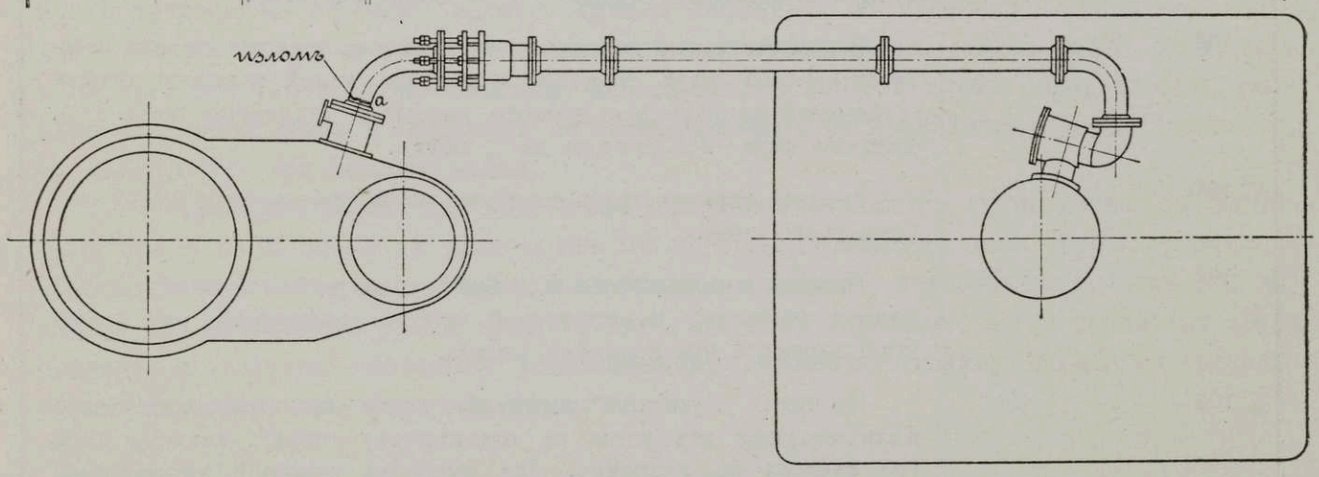
Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
78	1904	1491	Труба, соединявшая лѣвый котелъ съ промежуточнымъ вентилемъ машины, сломалась у *a*, чер. 215, а на другой день сломалась такая же труба праваго котла у *b*; обѣ поломки возлѣ флянцевъ. Внѣшній діаметръ трубъ $5^3/_{16}$ дюйма, толщина $^1/_4$ дюйма. Погода очень бурная, машины бросались. Послѣ починки въ портѣ обѣихъ трубъ плаваніе продолжалось и черезъ шесть дней опять сломалась лѣвая труба во вставленной послѣ починки части. Причина поломокъ—слишкомъ жесткія трубы.
79	„	1501	Труба $7^1/_2$ дюймовъ діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
80	„	1505	Главная паровая труба $7^1/_2$ дюймовъ діаметромъ, толщина стѣнки отъ 0,25 до 0,3 дюйма, ломалась три раза возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
81	1905	1515	Главная паровая труба сломалась вслѣдствіе водяного удара.



Чер. 215.

82	„	1516	Главная паровая труба сломалась возлѣ флянца. Погода была очень бурная и машины и котлы сильно качались на основаніяхъ, которыя вообще въ судахъ бываютъ часто недостаточно солидны и жестки. Судно шло съ малымъ грузомъ.
83	„	1522	Мѣдное колѣно сломалось вслѣдствіе ослабленія крѣпости мѣди отъ высокой температуры; по трубамъ шелъ паръ, перегрѣтый до температуры въ 230 — 250° Цельзія (случай не на пароходѣ, а на центральной станціи трамвая).
84	„	1527	Главная паровая труба 5 дюймовъ діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Судно шло съ малымъ грузомъ и машины сильно бросались.
85	„	1543	Главныя паровыя трубы $4^1/_2$ дюйма діаметромъ отъ лѣваго и отъ праваго котловъ (колѣна) сломались возлѣ флянцевъ. Погода была очень бурная, машины бросались и качались. Судно шло безъ груза, съ однимъ балластомъ.
86	„	1544	Главная паровая труба $6^1/_2$ дюймовъ діаметромъ и $^1/_4$ дюйма толщины разорвалась вдоль на длинѣ свыше 2 футовъ. Причины—

Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
			труба была съѣдена снаружи морскою водою такъ, что толщина стѣнокъ была вдвое менѣе первоначальной и, кромѣ того, на внутренней поверхности трубы была старая трещина.
87	1906	1582	Паропроводъ для вспомогательныхъ машинъ взорвался вслѣдствіе водяного удара. Убито три человѣка. Діаметръ трубы—4 дюйма, труба—паяная. Причина водяного удара—обычное въ практикѣ построенія вспомогательныхъ паропроводовъ отсутствіе дренажныхъ крановъ вблизи мѣстъ соединенія трубопровода съ котлами.
88	„	1610	Два случая поломокъ трубъ возлѣ флянцевъ вслѣдствіе вибрацій машинъ и недостаточной свободы расширенія. Матеріалъ въ оригиналѣ не указанъ, но надо предполагать, что трубы были мѣдныя.
89	„	1611	
90	„	1616	Главная паровая труба 4 дюйма діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе вибрацій машинъ легко нагруженнаго судна. Двѣ поломки произошли одна за другою.
91	1907	1651	Главная паровая труба 4 дюйма діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Погода была очень бурная.
92	„	1654	Главная паровая труба $4^1/_2$ дюйма діаметромъ и $^3/_{16}$ дюйма толщиною сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
93	„	1656	Главная паровая труба 5 дюймовъ діаметромъ, и 0,16 дюйма толщиною сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.



Чер. 216.

94	„	1662	Главная паровая труба сломалась вслѣдствіе уменьшенія толщины стѣнки въ починенной ранѣе части и пережога мѣди (вѣроятно при постановкѣ первой заплаты, лѣтъ за 8 передъ этимъ).
95	„	1666	Главная паровая труба между машиною и котломъ, чер. 216, сломалась въ колѣнѣ возлѣ флянца, при *a* ; діаметръ трубы 8 дюймовъ, толщина—0,19 дюйма и длина $2^1/_2$ фута. Труба сдѣлана изъ мѣди, осажденной электролитическимъ путемъ. Причина поломки—сильныя вибраціи вслѣдствіе того, что машины бросались и ослабѣли на своихъ основаніяхъ. Это уже третья поломка главнаго паропровода на этомъ суднѣ. Послѣ первой поломки * былъ вставленъ

* Случай подъ № 88, отчетъ № 1610.

Номеръ примѣра	Годъ	Номеръ отчета	ОПИСАНІЕ ПОЛОМКИ
			показанный на чертежѣ расширитель. Но такъ какъ колѣна слишкомъ коротки и ничѣмъ не поддержаны, то, при неправильной установкѣ гаекъ предохранительныхъ болтовъ расширителя, возможно появленіе значительной неуравновѣшенной продольной силы въ трубопроводѣ вслѣдствіе давленія пара. Достойно замѣчанія, что сломалось *короткое* колѣно, подверженное меньшему сгибающему моменту отъ продольной силы, нежели болѣе длинное; причиной этому считаютъ то, что это было новое колѣно, сдѣланное изъ электролитической мѣди. Слѣдуетъ еще упомянуть, что за два дня до поломки судно сѣло на мель, и при усиленной работѣ машинъ для съемки его съ мели трубопроводъ могъ тоже быть нѣсколько надорванъ.
96	1908	1696	Главная паровая труба 5 дюймовъ діаметромъ и $^1/_4$ дюйма толщиною (колѣно) сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Длина трубы всего 3 фута 5 дюймовъ, между котломъ и тройникомъ.
97	„	1709	Главная паровая труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Такая поломка происходитъ уже второй разъ.
98	„	1735	Главная паровая труба $4^3/_4$ дюйма діаметромъ и около $^1/_4$ дюйма толщиною сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Погода была бурная, судно шло безъ груза.
99	„	1736	Труба изъ электролитической мѣди разорвалась по длинѣ вслѣдствіе плохого матеріала (коэффиціентъ крѣпости на разрывъ 20 kg/mm, удлиненіе—только 8% на длинѣ 4 дюйма).
100	1909	1770	Вспомогательный паропроводъ 5 дюймовъ діаметромъ изъ электролитической мѣди сломался вслѣдствіе малой толщины стѣнки (сдѣланной по ошибкѣ) и плохого матеріала (удлиненіе всего 5%). Давленіе пара—215 фунтовъ на □ дюймъ.
101	„	1795	Главная паровая труба сломалась вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія.
102	„	1810	Главная паровая труба 5 дюймовъ діаметромъ сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія или вслѣдствіе пережога при припайкѣ флянца.
103	„	1811	На суднѣ „Лузитанія“ взорвалась труба изъ электролитической мѣди, ведущая отъ котла къ водомѣрному стеклу. Давленіе пара 190 фунтовъ на □ дюймъ. Для высокихъ давленій употребленіе электролитической мѣди (трубы Эльмора и имъ подобныя) считается многими опаснымъ.
104	„	1847	Главная паровая труба взорвалась вслѣдствіе водяного удара.
105	„	1852	Главная паровая труба сломалась возлѣ флянца вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія. Машины бросались.

Изъ поломокъ не пароходныхъ трубъ упомянемъ только два случая удивительной конструкціи котловъ, гдѣ труба отъ продувного крана котла была изъ красной мѣди и была прямо проведена черезъ дымоходъ, ничѣмъ не защищенная, наружу. Натурально, труба перегорала и ее взрывало.

ГЛАВА XII.

Свинцовыя, гончарныя, цементныя, бетонныя, желѣзо-бетонныя, каменныя, стеклянныя и др. трубы.

§ 96. Свинцовыя трубы.

Въ древности свинцовыя трубы пользовались большимъ распространеніемъ и спаянныя изъ листовъ трубы значительнаго діаметра замѣняли наши теперешнія желѣзныя и чугунныя трубы. Въ настоящее время свинцовыя трубы употребляются лишь въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ діаметръ трубопровода не великъ. Но онѣ пользуются большимъ распространеніемъ тамъ, гдѣ приходится трубы часто изгибать по различнымъ направленіямъ и гдѣ давленіе не особенно велико. Такимъ образомъ, въ настоящее время мы находимъ свинцовыя трубы небольшого діаметра при проводкѣ въ домахъ и пр. воды, газа и сжатаго воздуха подъ небольшимъ давленіемъ; здѣсь эти трубы очень удобны, такъ какъ ихъ легко гнуть и проводить по всевозможнымъ направленіямъ, и легко соединять, въ особенности при помощи пайки.

Свинцовыя трубы для подобныхъ цѣлей изготовляются обыкновенно съ діаметрами отъ 6 до 80mm и съ длиною отъ 50 до 5mt. Готовятся такія трубы путемъ выдавливанія массы свинца сквозь кольцеобразное отверстіе, подобно тому, какъ это дѣлается при описанномъ ранѣе способѣ Дика. Въ тѣхъ случаяхъ, когда свинцовая труба подвержена изнутри замѣтному разрывающему давленію, толщину стѣнки ея расчитываютъ на разрывъ по формулѣ Маріотта

$$\delta = \frac{Dp}{2z} + c;$$

величину допускаемаго напряженія на разрывъ z берутъ отъ 0,20 до 0,25kg/□mm. Коэффиціентъ же крѣпости обычнаго, практически чистаго свинца на разрывъ бываетъ около 1,25kg/□mm *. Прибавку c берутъ различно, напр. равной $\sim$1mm.

Понятіе о среднихъ величинахъ принимаемыхъ въ практикѣ толщинъ стѣнокъ и допускаемыхъ напряженій можетъ дать слѣдующая таблица, составленная на основаніи данныхъ нѣсколькихъ различныхъ заводовъ:

---

* Если свинецъ содержитъ много примѣсей, то крѣпость его повышается, а мягкость понижается; свинецъ, содержащій болѣе 5% сурьмы (до 10%) носитъ названіе твердаго или крѣпкаго свинца и иногда употребляется для трубъ. Онъ гораздо крѣпче чистаго, *мягкаго* свинца, приблизительно раза въ два. Стѣнки трубъ изъ такого свинца выходятъ поэтому тоньше, нежели изъ мягкаго.

Внутренній діаметръ трубы въ mm	6	12	24	38	52	65	70	80
Толщина стѣнки въ mm	2	2,5—3	2,5—3	4,5	4—5,5	4—6	4—6	4—6
Допускаемое давленіе въ трубѣ въ atm	13—16	9—10	4—5	4,8	3—5	2,5—4	2,3—4	2-3

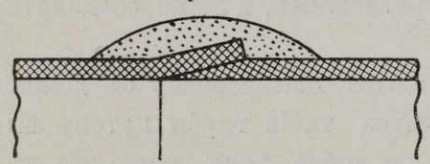
Слѣдуетъ замѣтить, что свинцовыя трубы очень боятся какъ внѣшнихъ ударовъ и толчковъ, такъ и внутреннихъ, водяныхъ ударовъ, а также всякихъ значительныхъ продольныхъ усилій.

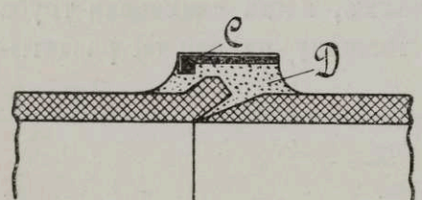
Однимъ изъ неудобствъ свинцовыхъ трубъ въ случаѣ, когда онѣ служатъ въ качествѣ водопроводныхъ, является то обстоятельство, что свинецъ разъѣдается иногда водою, и вода можетъ быть потомъ причиной отравленія животныхъ. Особенно сильно разъѣдаетъ свинецъ вода *мягкая*, а жесткая вода его не трогаетъ. Чтобы устранить это неудобство прибѣгали къ различнымъ средствамъ, изъ которыхъ наиболѣе извѣстны два: покрытіе внутренности трубъ слоемъ сѣры (вѣрнѣе, сѣрнистаго соединенія) и покрытіе внутренности трубъ слоемъ олова.

Первое средство не причиняетъ никакихъ неудобствъ въ практикѣ, устройство же сложныхъ свинцовыхъ трубъ, выстланныхъ внутри слоемъ олова около 0,5mm толщиною, оказалось не особенно удобнымъ, такъ какъ при изгибаніи трубъ олово отслаивается отъ свинца, да и при расширеніи трубъ отъ внутренняго давленія деформаціи олова и свинца тоже различны; въ результатѣ все это ведетъ къ разслаиванію трубъ и отдѣленію свинца отъ олова, отчего прочность трубъ, конечно, страдаетъ.

Соединенія свинцовыхъ трубъ производятся или путемъ спайки, или же посредствомъ флянцевъ. Соединеніе путемъ спайки изображено на фиг. 10 табл. 95: одинъ конецъ трубы раздается при помощи деревяннаго круглаго коническаго клина, и затѣмъ между вставленными другъ въ друга (на глубину отъ 20 до 50mm) концами трубъ вводится припой и запаивается. Это соединеніе неудобно тѣмъ, что у мало опытныхъ работниковъ припой проникаетъ внутрь трубъ и загромождаетъ свободное сѣченіе ихъ, препятствуя теченію жидкости.

Чер. 217.





Чер. 218.

Иногда подобное соединеніе выполняется такъ какъ показано на чер. 217, именно, припой окружаетъ мѣсто соединенія, а не вводится между расширенной частью одной трубы и задкомъ другой.

Болѣе удобнымъ для выполненія является соединеніе трубъ, показанное на чер. 218; здѣсь спаиваемыя мѣста двухъ трубъ окружаются тонкой втулочкой *C* изъ латуни или стали и т. п. крѣпкаго металла; между втулочкой и трубами находится припой *D*. Такое соединеніе, гдѣ втулочка даетъ, такъ сказать, опору свинцу, гораздо легче хорошо выполнить, нежели обыкновенную спайку.

Въ серьезныхъ случаяхъ (напр., при устройствѣ трубъ для откачки воды изъ трюма на корабляхъ и т. п.) употребляются соединенія при помощи вольныхъ флянцевъ, подобно тому, какъ на фиг. 10 табл. 76; флянцы бываютъ или тоже свинцовые, или же изъ желѣза, чугуна, латуни и пр.

Имѣются еще и нѣкоторые сравнительно новые способы соединенія свинцовыхъ трубъ, показанные на фиг. 11—21 табл. 95 *Атласа* и тамъ подробно описанные.

При соединеніи двухъ свинцовыхъ трубъ, а тѣмъ болѣе, при соединеніи свинцовой трубы съ чугунной или желѣзною, употребляются соединенія съ особыми навертными муфтами, показанныя въ *Атласѣ* на фиг. 1—4 табл. 96. Подобныя же спеціальныя соединенія для свинцовыхъ трубъ устраиваются еще и по образцу фиг. 1 табл. 98 и фиг. 1 табл. 96.

Слѣдуетъ еще упомянуть о *свинцово-желѣзныхъ* (или, если угодно — желѣзосвинцовыхъ) трубахъ, которыя состоятъ изъ желѣзной трубы, выстланной внутри тонкимъ слоемъ свинца (или, все равно, изъ тонкой свинцовой трубы, усиленной снаружи желѣзной трубой). Такія трубы имѣютъ извѣстное распространеніе, такъ какъ свинецъ защищаетъ желѣзо отъ разъѣданія и ржавленія, а желѣзная оболочка даетъ крѣпость. Соединяются такія трубы и флянцами и муфтами на рѣзьбѣ (см., напримѣръ, каталогъ фирмы Non-Corrosive Valve & Pipe Co., Boston, Mass.) и раструбами (*Атласъ*, табл. 98, фиг. 5—6).

Глиняныя (гончарныя) трубы.

§ 97. Трубы изъ обожженой глины являются одними изъ древнѣйшихъ и употреблялись нѣсколько тысячъ лѣтъ тому назадъ для цѣлей водопровода и канализаціи. Въ настоящее время такія трубы, по причинѣ ихъ малой крѣпости, употребляются почти исключительно для цѣлей дренажа и канализаціи, и вода въ нихъ течетъ свободно, имѣя свободную поверхность, какъ въ каналѣ.

Глиняныя трубы, преимущественно съ круглымъ сѣченіемъ, изготовляются изъ различныхъ сортовъ хорошо обожженой глины * и обыкновенно покрываются внутри и снаружи слоемъ стекловидной глазури (глазурованныя или остеклованныя трубы), которая предохраняетъ трубу отъ вліянія текущей въ ней жидкости и уменьшаетъ треніе этой жидкости о стѣнки трубы. Толщина стѣнокъ такихъ трубъ, которыя подвержены изнутри только небольшому давленію, опредѣляется не по формулѣ Маріотта, а получается изъ соображеній прочности на сплющиваніе, толчки при перевозкѣ и пр. и расчету не поддается, а устанавливается заводами практически. Понятіе о принятыхъ въ практикѣ величинахъ даетъ нижеслѣдующая таблица:

Діаметръ въ mm	50	75	100	130	150	175	200	225	250	275
Толщина стѣнки въ mm	12	13	14	16	17	19	19	20	22	23
Діаметръ въ mm	300	350	400	450	500	550	600	650	700	800
Толщина стѣнки въ mm	25	28	30	34	36	38	40	45	52	57

* Подробности относительно различныхъ сортовъ глинъ и изготовленія трубъ можно найти въ старой (1872 года) но превосходной книгѣ инженера Кёнига „Der practische Röhrenmeister“, von Friedrich König, Jena, 1872, въ которой имѣется масса полезныхъ данныхъ относительно изготовленія всевозможныхъ трубъ, какъ металлическихъ (чугунныхъ, желѣзныхъ, мѣдныхъ, свинцовыхъ и пр.), такъ и не металлическихъ (глиняныхъ, цементныхъ, асфальтовыхъ и пр.). Книжка и сейчасъ можетъ быть очень полезна.

Въ недавно вышедшей книгѣ проф. Огденъ:

«SEWER CONSTRUCTION by Henry N. Ogden, C. E., New Iork, 1908»

также можно найти нѣкоторыя подробности относительно изготовленія глиняныхъ трубъ. Книга содержитъ также свѣденія и о цементныхъ, бетонныхъ и др. трубахъ.

Спеціальное изслѣдованіе о причинахъ появленія трещинъ въ глиняныхъ трубахъ во время ихъ обжига, имѣется въ журналѣ The Engineering Record, 1905 г., August 19, статья инж. Hull.

Относительно *длины* обычныхъ гончарныхъ трубъ, слѣдуетъ указать, что длина эта постепенно увеличивалась; раньше дѣлали трубы съ длиною всего въ одинъ футъ, потомъ перешли къ длинѣ два фута, а затѣмъ увеличили длину до 3 футъ и до одного метра. Этимъ подтверждается то, что было мною высказано въ началѣ книги, именно, что, вообще, принятыя въ практикѣ длины различныхъ трубъ скорѣе малы, нежели велики, и что опытъ постепенно ведетъ къ увеличенію длины и къ уменьшенію числа соединеній.

Что̀ касается способности глиняныхъ трубъ сопротивляться внутреннему давленію съ одной стороны, и наружному, сплющивающему давленію — съ другой, то она весьма сильно измѣняется въ зависимости отъ сорта глины и прочихъ условій и дать среднія цифры довольно трудно; нѣкоторыя подробности по этому вопросу имѣются въ книжкѣ Björling'a „Pipes and Tubes“ *.

Соединенія гончарныхъ трубъ производятся исключительно посредствомъ раструбовъ, подобныхъ раструбамъ при чугунныхъ трубахъ; задокъ одной трубы вставляется въ раструбъ другой, и промежутокъ заполняется какимъ нибудь подходящимъ матеріаломъ. Относительно конструкціи раструбовъ и матеріала заполненій ихъ необходимо указать слѣдующее.

При обычныхъ конструкціяхъ раструба, задокъ и раструбъ дѣлаются цилиндрическими; иногда поверхности ихъ остаются гладкими, какъ на фиг. 9—12 табл. 98, а иногда на наружной поверхности задка и на внутренней поверхности раструба дѣлаютъ рядъ круговыхъ бороздокъ или углубленій. Толщина раструба обыкновенно дѣлается равной толщинѣ стѣнки трубы.

Весьма важную роль въ смыслѣ герметичности соединенія играетъ глубина раструба; прежде ее дѣлали довольно малою, но затѣмъ стали постепенно увеличивать. Такъ, напр., въ Америкѣ въ началѣ 90-хъ годовъ стали увеличивать глубины раструбовъ и приняли такія величины: для трубъ съ діаметрами отъ 4 до 13 дюймовъ глубина раструба $2^5/_8$ и даже 3 дюйма; для трубъ съ діаметрами отъ 15 до 20 дюймовъ— $3^1/_8$ дюйма и для трубъ съ діаметромъ въ 24 дюйма — 4 дюйма. Толщина слоя заполненія — $^5/_8$ дюйма (примѣры стараго и новаго раструбовъ для 6-дюймовой трубы показаны на фиг. 9 — 12 табл. 98; заполненіе съ конической поверхностію, какъ на фиг. 9 и 10 даетъ бо́льшую герметичность, но его очень трудно выполнить удовлетворительно, если канава находится въ сыромъ грунтѣ).

Для заполненія раструбовъ употребляютъ много различныхъ веществъ, какъ то: цементъ, цементъ съ пескомъ, сѣру съ пескомъ, асфальтъ, глину, глину въ соединеніи съ цементомъ, промасленныя плетенки ** и пр.

Расмотримъ конструкціи раструбовъ и различныя ихъ заполненія нѣсколько подробнѣе.

Однимъ изъ наиболѣе распространенныхъ устройствъ являются обыкновенные цилиндрическіе задокъ и раструбъ, съ канавками или безъ нихъ, и заполненіе такого раструба цементомъ или цементнымъ растворомъ (цементъ съ пескомъ).

---

* Такъ, напр., коэффиціентъ крѣпости Англійскихъ трубъ на разрывъ мѣняется отъ 0,015 до 0,220kg/□mm, а нагрузка, раздавливающая трубу и приложенная въ ея вершинѣ, мѣняется для 9-дюймовой трубы отъ 2160 до 3680 Англ. фунтовъ, при толщинѣ стѣнки около 1 дюйма (длина трубъ не указана, но данъ вѣсъ трубы, около 63 — 64 Англ. фунтовъ). Ogden даетъ для Американскихъ трубъ гораздо бо́льшую величину коэффиціента крѣпости на разрывъ, именно не менѣе 0,4kg/□mm.

Весьма обстоятельные опыты надъ крѣпостью гончарныхъ и бетонныхъ трубъ производили инженеры Burchartz и Stock, въ Германіи, въ періодъ времени между 1896 и 1904 годами и въ отчетѣ объ этихъ испытаніяхъ имѣется весьма много данныхъ о сопротивленіи трубъ наружному и внутреннему давленію. Испытанія производились въ извѣстной лабораторіи „Königliche Material-Prüfungsamt, Gross-Lichterfelde“.

См. также опыты проф. Howe (The Engineering Record, 1906, Nov. 3, стр. 504).

** которыя очень охотно выѣдаютъ мыши.

Однимъ изъ главнѣйшихъ неудобствъ цементнаго заполненія является его негерметичность. Сквозь цементъ пробирается жидкость, или изъ трубы наружу, или изъ канавы въ трубу, смотря по тому, гдѣ больше давленіе. Такое просачиваніе можетъ причинить неисчислимыя бѣдствія въ санитарномъ отношеніи, быть причиною эпидемій тифа, холеры и пр. Способность цементнаго заполненія пропускать сквозь себя жидкость гораздо больше, чѣмъ могло бы казаться на глазъ. Въ высшей степени назидательные въ этомъ отношеніи опыты дѣлалъ Американскій инженеръ Freeman C. Coffin въ 1894 году. Отсылая интересующихся къ оригиналу этой весьма важной и интересной статьи (Engineering News, 1895 г., Jan. 3) укажемъ здѣсь лишь сущность его опытовъ. Онъ производилъ свои опыты въ условіяхъ, которыя по возможности приближались къ дѣйствительнымъ условіямъ практики: двѣ трубы, соединенныя другъ съ другомъ и закрытыя съ одного конца пробкою, помѣщались въ ящикъ, въ которомъ поддерживалось давленіе столба воды въ 5 футовъ высотою (ящикъ представлялъ какъ бы канаву, наполненную грунтовою водою) и затѣмъ при различныхъ заполненіяхъ раструба измѣрялось количество воды, проникавшее въ трубу въ единицу времени. Всѣ трубы имѣли одинаковый внутренній діаметръ равный 6 дюймамъ. Для различныхъ заполненій получились такіе результаты (для удобства примѣненія въ практикѣ протечка воды перечислена на Англійскую милю длины трубопровода, на каковой длинѣ предполагается, согласно длинѣ опытныхъ трубъ, 2640 соединеній трубъ, за время въ одни сутки или 24 часа).

При заполненіи чистымъ цементомъ протечка оказывалась въ *сто разъ* больше, нежели при заполненіи смѣсью цемента и песка (при цементѣ Розендаль, чистомъ, наибольшая протечка была 285000 галлоновъ, а средняя — 140000 галлоновъ, а при томъ же цементѣ, въ смѣси съ пескомъ въ отношеніи 1 : 1, средняя протечка была всего 1120 галлоновъ).

Бо́льшая глубина раструба и коническая отмазка, какъ на фиг. 9, 10 и 12 табл. 98, уменьшаютъ протечку значительно, приблизительно въ два раза для болѣе глубокихъ раструбовъ фиг. 10 и 12, и почти втрое для заполненія съ конической отмазкой, фиг. 9 и 10.

Результаты опытовъ Coffin'a не очень сильно разнятся и отъ результатовъ дѣйствительной практики. За послѣдніе годы Американскіе инженеры принуждены были сознаться, что требовать отъ подрядчика, какъ это дѣлается во многихъ спецификаціяхъ, чтобы цементныя заполненія были бы *„вполнѣ герметичны“*, значитъ просто играть комедію, и выдающіеся инженеры соглашаются съ тѣмъ, что весьма часто въ практикѣ приходится мириться съ протечкою воды въ трубы въ размѣрѣ около 40000 галлоновъ на Англійскую милю въ 24 часа *. Конечно, такая прибавка воды къ той жидкости, которая течетъ въ трубѣ, требуетъ значительнаго увеличенія размѣровъ трубы, чтобы ее отвести, а это, увеличивая периметръ трубы, опять увеличиваетъ протечку, такъ что въ результатѣ для того, чтобы достигнуть отвода всей жидкости, приходится затрачивать много лишнихъ денегъ ввиду значительнаго увеличенія сѣченія трубы. Понятно поэтому, что всячески стремятся замѣнить цементное заполненіе какимъ нибудь другимъ.

Кромѣ способности пропускать воду, цементъ и цементъ съ пескомъ имѣютъ и другія неудобства: сквозь такое заполненіе легко проростаютъ корни деревьевъ и бываютъ случаи, что большія трубы *совершенно закупориваются* корнями и землею (фотографію такого 12-дюймоваго колѣна см. въ Engineering News, 1902 годъ, Novemb. 20); послѣ заполненія необходимо нѣсколько дней для того, чтобы цементъ окрѣпъ и сталъ

---

* а въ самыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ даже до 80000 галлоновъ; см. статью Hazlerhurst о просачиваніи воды въ канализаціонныя трубы въ журналѣ Engineering News, 1903 г., August 27.

герметичнымъ и поэтому воду сейчасъ же пускать на трубу и въ трубу нельзя; во время мороза производить работу нельзя.

Пробовали употреблять смѣсь цемента съ различными смолами, но безусловно удовлетворительныхъ результатовъ тоже не было получено.

За послѣдніе годы въ Америкѣ получило большое распространеніе заполненіе раструбовъ *сѣрою съ пескомъ*, извѣстное, впрочемъ давно (оно подробно описано въ книгѣ у Кёнига, въ 1872 году); о работѣ его Американцы даютъ самые лучшіе отзывы. Это заполненіе по сравненію съ цементнымъ имѣетъ слѣдующія достоинства: оно не пропускаетъ сквозь себя воды; не такъ легко пробуравливается корнями деревьевъ; далѣе, черезъ минуту послѣ окончанія заливки возможно уже позволить водѣ подняться въ канавѣ и смочить трубу, и также возможно черезъ минуту же пускать по трубѣ воду; при трубахъ средняго діаметра (не болѣе 10—12 дюймовъ) возможно соединить двѣ или три, и даже четыре трубы на землѣ, и потомъ опустить ихъ какъ одно цѣлое въ канаву, что конечно, упрощаетъ работу.

Заполненіе производится смѣсью сѣры и песку, которая теперь готовится въ Америкѣ даже массовымъ способомъ и разсылается въ бочкахъ. Сѣру лучше брать въ видѣ сѣрнаго цвѣта; песокъ берется очень мелкій (діаметръ зерна 0,135mm); пропорція сѣры и песку примѣрно 1 : 1 *. Смѣсь эту, которая плавится при 110° Цельзія, расплавляютъ въ горшкѣ, лучше всего на нефтяной или газолиновой печи, и затѣмъ заливаютъ ее въ раструбъ, совершенно подобно тому, какъ это дѣлаютъ со свинцомъ при чугунныхъ трубахъ.

Крѣпость такой массы довольно велика (коэффиціентъ крѣпости на разрывъ — отъ 0,3 до 0,5kg/□mm).

Передъ заливкой забиваютъ въ раструбъ, такъ же какъ и при заливкѣ свинцомъ, солидную пеньковую плетенку.

Рядъ гончарныхъ трубъ съ раструбами, залитыми цементомъ или сѣрою съ пескомъ, представляетъ изъ себя солидную, жесткую систему, и поэтому во избѣжаніе поломокъ отъ осадки земли, требуетъ укладки на солидномъ основаніи (натуральномъ грунтѣ, а иногда даже и на бетонѣ).

Хорошимъ считается также заполненіе раструба *асфальтомъ*, который тоже заливается туда въ расплавленномъ состояніи; достоинства такого заполненія — герметичность, податливость, способность сопротивляться дѣйствію кислотъ и пр., возможность производить заливку во всякое время, легкость разборки трубъ.

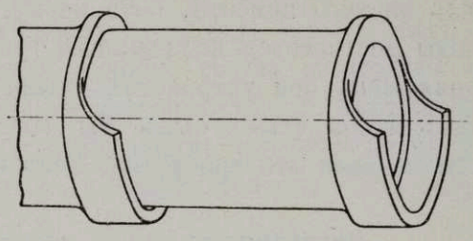
Употребляютъ еще смѣсь цемента съ каменоугольной смолой (1 часть каменоугольной смолы и 3 части Портландскаго цемента) но не вездѣ она давала вполнѣ удовлетворительные результаты. Затѣмъ употребляютъ также пеньковыя плетенки, пропитанныя цементнымъ растворомъ.

Въ Англіи очень распространены соединенія гончарныхъ трубъ, гдѣ заполненіе раструба производится болѣе сложнымъ образомъ, именно, и цементомъ и жирной глиной, которая даетъ соединенію нѣкоторую подвижность и бо́льшую герметичность. Образцомъ такихъ соединеній служитъ извѣстное въ Англіи соединеніе Станфорда, которому имѣется множество подражаній. Мы не можемъ здѣсь входить въ подробности по этому вопросу; интересующіеся найдутъ описаніе множества такихъ соединеній въ книжкѣ Philip R. Björling „Pipes and Tubes“. Одинъ изъ примѣровъ подобныхъ соединеній имѣется въ *Атласѣ*, табл. 98, фиг. 7—8. Слѣдуетъ замѣтить, что изъ двухъ отверстій, имѣющихся здѣсь въ раструбѣ, одно служитъ для вливанія цементнаго раствора, а другое — для выпуска воздуха.

---

* Всѣ эти данныя взяты изъ статьи A. Potter въ „Engineering News“ за 1904 г. Мартъ 10, гдѣ вопросъ объ этомъ заполненіи разобранъ авторомъ весьма подробно на основаніи личнаго опыта; Кёнигъ (въ 1872 г.) даетъ пропорцію сѣры и песку какъ 6 : 1, но, такое количество песку, повидимому, теперь признается недостаточнымъ.

Слѣдуетъ еще указать, что въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ глиняныя трубы (также какъ и цементныя и подобныя трубы) не заполняются вполнѣ жидкостію, а работаютъ подобно открытымъ каналамъ, такъ что жидкость течетъ только въ нижней половинѣ круглаго сѣченія трубы, не заполняя ее и до половины высоты, устраиваютъ, для облегченія разборки трубопровода, гончарныя (и цементныя, какъ увидимъ далѣе) трубы такимъ образомъ, что сама труба представляетъ изъ себя обыкновенный цилиндръ, раструбъ же выполняется *только въ нижней половинѣ окружности трубы*, т. е. только тамъ, гдѣ дѣйствительно будетъ течь жидкость и нужна герметичность; верхняя же половина трубъ раструбовъ не имѣетъ, и поэтому разборка трубопровода можетъ быть произведена весьма легко. Такія трубы показаны на чер. 219.



Чер. 219.

Для того, чтобы дать понятіе о тѣхъ требованіяхъ, которыя предъявляются къ гончарнымъ трубамъ при ихъ пріемкѣ и укладкѣ, мы приводимъ нѣсколько примѣровъ спецификацій, взятыхъ изъ Американской практики; спецификаціи эти прекрасно разработаны и являются образцами для составленія контрактовъ; въ нихъ все настолько предусмотрѣно, что никакихъ недоразумѣній съ подрядчикомъ и разнорѣчивыхъ толкованій текста быть не можетъ *. Для начинающаго техника знакомство съ подобными спецификаціями *въ высшей степени важно и полезно*, а между тѣмъ найти въ литературѣ образцы хорошихъ спецификацій довольно трудно (а Русской — въ особенности). Поэтому во всѣхъ отдѣлахъ книги я и отводилъ такъ много мѣста примѣрамъ спецификацій.

§ 98. Спецификаціи для поставки канализаціонныхъ трубъ для города С.-Луи.

Гончарныя канализаціонныя трубы.

Всѣ канализаціонныя трубы должны быть изготовлены изъ самой лучшей остеклованной глины и имѣть гладкую внутреннюю поверхность. Каждая вещь должна быть прямою или плавно изогнутою, какъ требуется, и въ поперечномъ сѣченіи не должна уклоняться отъ правильного кругового сѣченія болѣе, чѣмъ на половину дюйма. Толщина шести-дюймовыхъ трубъ не должна быть менѣе трехъ четвертей дюйма; двѣнадцати-дюймовыхъ трубъ—не менѣе одного съ осьмой дюйма; пятнадцати-дюймовыхъ трубъ—не менѣе одной съ четвертью дюйма; и восемнадцати-дюймовыхъ трубъ—не менѣе полутора дюйма. Соединительныя части, назначенныя для соединенія съ кирпичными каналами, должны быть постепенно спущены наконусъ съ угломъ въ сорокъ пять градусовъ и имѣть въ длину не менѣе двухъ футъ, исключая отсюда длину раструба. Для канализаціонныхъ трубъ соединительныя части должны составлять часть главной трубы и никогда не должно употребляться соединеніе подъ прямымъ угломъ.

Всякая труба должна укладываться на твердое основаніе и въ полномъ согласіи съ назначенными направленіемъ и уклономъ. Дно канавы должно быть вырыто такимъ образомъ, чтобы приходилось къ нижней половинѣ трубы какъ можно точнѣе, а подъ раструбами должны быть вырыты болѣе глубокіе мѣста, тоже дающіе опору рас-

---

* Нѣкоторыя данныя относительно поломокъ гончарныхъ трубъ имѣются въ журналѣ „The Engineering Record“, 1905 г., October 28; между прочимъ, тамъ укладку гончарныхъ трубъ свыше 500mm діаметромъ для канализаціонныхъ цѣлей рекомендуется дѣлать не иначе, какъ на бетонномъ основаніи, чтобы избѣжать поломокъ трубъ вслѣдствіе осадки грунта.

трубу, такъ что трубопроводъ получаетъ твердую опору по всей своей длинѣ отъ конца до конца.

Соединеніе трубъ должно дѣлаться при помощи заполненія раструба растворомъ изъ чистаго цемента, безъ песку, такъ что лишь прибавленіемъ къ чистому цементу воды достигается надлежащая густота раствора. Величайшая тщательность должна быть приложена при устройствѣ стыка въ нижнихъ трехъ четвертяхъ окружности трубы, такъ чтобы стыкъ былъ бы совершенно непроницаемъ для воды. Верхняя четверть стыка, если это требуется, должна быть оставлена открытой.

Внутренность трубъ должна быть тщательно очищена отъ всякаго сору, цемента и всякаго излишняго матеріала, и пыжъ, состоящій изъ мѣшка, наполненнаго сѣномъ, имѣющій діаметръ, достаточно большой для того, чтобы заполнить все сѣченіе трубы, и привязанный къ веревкѣ, долженъ постоянно держаться внутри трубы и быть продвигаемъ впередъ по мѣрѣ того, какъ идетъ работа, при чемъ надо остерегаться, чтобы не разстроить стыковъ.

Послѣ того, какъ трубы уложены и надлежащимъ образомъ соединены, всѣ промежутки между ними и боками канавы должны быть заполнены пескомъ, или вмытымъ струею воды или хорошо утрамбованнымъ, до средины трубы (до горизонтальнаго діаметра). Начиная съ этого мѣста и по крайней мѣрѣ до высоты въ двѣнадцать дюймовъ считая надъ высшей точкой трубы, земля должна быть засыпана такъ, чтобы не разстроить трубъ, и тщательно утрамбована; послѣ этого, уже до самой поверхности грунта она можетъ или утрамбовываться слоями или хорошо быть пропитана водой, смотря по указаніямъ наблюдающаго за постройкой, такъ чтобы послѣ окончанія работъ произошла возможно меньшая осадка.

Канализаціонныя трубы оплачиваются съ погоннаго фута оконченной линіи, и въ уплачиваемую сумму входятъ доставка и укладка трубъ, выемка земли, постановка распорокъ и откачка воды, заполненіе канавъ послѣ укладки, возстановленіе мостовой, отвозка излишняго матеріала и всѣ другія работы и матеріалы, потребныя согласно спецификаціямъ или необходимыя для полученія окончательныхъ наилучшихъ результатовъ.

Если линія встрѣчаетъ скалистую мѣстность, то за выемку такой скалы уплачивается по указанной здѣсь цѣнѣ, именно, по . . . . . , причемъ количество вынутой скалы вычисляютъ, считая основаніе канавы на шесть дюймовъ больше внутренняго діаметра трубы, а боковыя стѣнки идущими съ уклономъ восемь вертикальныхъ длинъ на одну горизонтальную.

§ 99. Спецификаціи для канализаціонныхъ трубъ.

Гончарныя канализаціонныя трубы и фасонныя части.—Канализаціонныя трубопроводы составляются изъ прямыхъ частей, называемыхъ здѣсь „трубами“ и отвѣтвленій, колѣнъ, уменьшителей діаметра и пр., которыя всѣ здѣсь называются „фасонными“ или „спеціальными частями“.

Главная канализаціонная труба, также какъ и всѣ поверхностныя и боковыя отвѣтвленія, должны быть сдѣланы изъ лучшей каменной глины (stoneware), глазированной съ солью, и остеклованной, и всѣ фасонныя части, которыя только могутъ встрѣтиться при работѣ, должны быть сдѣланы изъ того же сорта глины и тѣхъ же качествъ.

Всѣ трубы и фасонныя части должны быть тщательно отобраны и осмотрѣны

подрядчикомъ передъ посылкой ихъ на улицы, и весь матеріалъ, который можетъ пойти въ употребленіе во время работы, долженъ удовлетворять слѣдующимъ требованіямъ:

Всѣ муфты или раструбы должны быть внутри настолько большого діаметра, чтобы задокъ слѣдующей трубы или фасонной части свободно входилъ бы съ нихъ до самаго дна безъ подрубки того или другого, и чтобы вокругъ трубы оставалось бы кольцевое свободное пространство не менѣе $^1/_8$ дюйма въ каждомъ мѣстѣ окружности, для заполненія цементнымъ растворомъ. Трубы и фасонныя части, которыя не могутъ быть вставлены въ раструбы такъ свободно, какъ здѣсь указано, должны быть забракованы и выброшены.

Если трубы и фасонныя части имѣютъ внутренній діаметръ въ 12 дюймовъ и болѣе, то по крайней мѣрѣ 40% всего того ихъ числа, которое пойдетъ въ дѣло, должны быть совершенно круглыми, или практически круглыми въ поперечномъ сѣченіи; изъ тѣхъ же трубъ и фасонныхъ частей, которыя имѣютъ діаметръ менѣе 12 дюймовъ, по крайней мѣрѣ 60% всего ихъ числа, потребнаго для работы, должно быть вполнѣ круглыми или практически круглыми въ поперечномъ сѣченіи. Для остающагося за вычетомъ этихъ процентовъ числа трубъ допускаемыя отступленія отъ правильной круговой формы не должны превосходить слѣдующихъ предѣловъ: *a*). Для эллиптическаго поперечнаго сѣченія наибольшій внутренній діаметръ долженъ превышать наименьшій внутренній діаметръ въ томъ же самомъ поперечномъ сѣченіи не больше, какъ на 6 или 7%. *b*). Для овальнаго или яйцевиднаго сѣченія должно быть соблюдено то же правило, какъ и для эллиптическаго. *c*). Трубы и фасонныя части, имѣющія поперечное сѣченіе, у котораго замѣчаются углы, острыя закругленія или плоскія мѣста, должны быть забракованы и отброшены.

Единственная огневая трещина, простирающаяся на *всю толщину* трубы или фасонной части, не должна быть въ длину болѣе 2 дюймовъ у задка, и болѣе 1 дюйма у раструбнаго конца, причемъ въ послѣднемъ случаѣ длина эта измѣряется отъ дна или заплечика сказаннаго раструба. Двѣ или болѣе такихъ трещины, на какомъ бы концѣ трубы онѣ не были, влекутъ за собой браковку трубы.

Единственная огневая трещина, которая идетъ на *двѣ трети* толщины трубы или фасонной части, не должна имѣть болѣе 4 дюймовъ въ длину, все равно—на какомъ концѣ трубы; причемъ на раструбномъ концѣ длина эта измѣряется отъ дна или заплечика раструба. Двѣ или болѣе такихъ трещины, на какомъ бы концѣ трубы или фасонной части онѣ не находились, влекутъ за собою браковку трубы.

Единственная огневая трещина, которая идетъ на *половину* толщины трубы, или фасонной части, не должна имѣть болѣе 6 дюймовъ въ длину, все равно, на какомъ концѣ. Двѣ или болѣе такихъ трещины, на какомъ бы концѣ трубы или фасонной части онѣ ни находились, влекутъ за собою браковку трубы.

Единственная огневая трещина, которая идетъ *менѣе чѣмъ на половину* толщины трубы или фасонной части, не должна имѣть болѣе 8 дюймовъ въ длину. Двѣ или болѣе такихъ трещины, на какомъ бы концѣ трубы онѣ ни находились, влекутъ за собою браковку трубы.

Поперечная огневая трещина на трубѣ или фасонной части не должна превышать по длинѣ одной шестой окружности этой трубы, а глубина ея не должна превышать одной трети толщины трубы или части. Двѣ или болѣе такихъ трещины влекутъ за собою браковку трубы.

Но ни одна огневая трещина, какого бы рода она ни была, не должна имѣть болѣе одной осьмой дюйма ширины въ самомъ широкомъ мѣстѣ.

Никакой комбинаціи указанныхъ выше шести ограниченій не допускается иначе, какъ по спеціальному соглашенію съ Строительной Комиссіей и съ городскимъ пріемщикомъ, такъ какъ цѣль и значеніе этихъ ограниченій—обезпечить доставку подрядчикомъ трубъ и фасонныхъ частей наилучшаго качества. Вообще, всякая труба, которая имѣ-

етъ болѣе одной огневой трещины указанныхъ выше размѣровъ, должна быть отброшена немедленно инспекторомъ, завѣдующимъ укладкой трубъ, если только не окажется времени для самаго тщательнаго изслѣдованія остальныхъ огневыхъ трещинъ, которыя онъ можетъ прозондировать и такимъ образомъ убѣдиться, что онѣ имѣютъ мало значенія.

Всякая труба, которая окажется лопнувшей во всю свою толщину не вслѣдствіе процесса обжига ея въ печи, а по какой либо иной причинѣ, должна быть немедленно забракована, причемъ не обращается уже вниманія на размѣры трещины. Это въ особенности относится къ трещинамъ, происшедшимъ вслѣдствіе перевозки, охлажденія и мороза.

Неправильные наросты и не лопнувшіе пузыри на внутренней поверхности трубъ или фасонныхъ частей, если число и размѣры ихъ такъ значительны, что могутъ представить замѣтное препятствіе свободному теченію канализируемой жидкости, влекутъ за собою браковку трубы. Небольшое число маленькихъ нелопнувшихъ пузырей, высота коихъ не превосходитъ четверти дюйма, а діаметръ одного или двухъ дюймовъ, находящихся на внутренней поверхности трубы, не влечетъ за собою браковки трубы или фасонной части. Если на внутренней поверхности трубы имѣется лопнувшій пузырь или плена, которые толще одной шестой нормальной толщины этой трубы или фасонной части, и которыхъ наибольшій діаметръ больше, чѣмъ одна двѣнадцатая часть окружности сказанной трубы или фасонной части, то онѣ бракуются. Далѣе, кромѣ того, если даже такіе лопнувшіе пузыри или плены имѣютъ указанные сейчасъ предѣльные размѣры, или и еще меньшіе, но, если сказанную трубу или фасонную часть нельзя вставить и уложить такъ, чтобы эти лопнувшіе пузыри пришлись бы въ самой высшей точкѣ верхней половины трубы, то труба или фасонная часть все таки бракуются.

Неправильные наросты и не лопнувшіе пузыри на наружной поверхности трубы или фасонной части, не требуютъ ея браковки. Большіе же лопнувшіе пузыри или плены на наружной поверхности трубы, если толщина ихъ болѣе одной шестой нормальной толщины сказанной трубы или спеціальной части, и наибольшій діаметръ больше одной девятой части (и даже иногда одной двѣнадцатой) наружной окружности сказанной трубы, влекутъ за собой браковку трубы или фасонной части. Если, однако, лопнувшіе пузыри и плены лежатъ въ указанныхъ выше допустимыхъ предѣлахъ, и труба или фасонная часть можетъ быть уложена такъ, чтобы сказанные пузыри и плены пришлись въ верхней части трубопровода, то труба или фасонная часть могутъ быть приняты, если во всѣхъ прочихъ отношеніяхъ онѣ удовлетворительны.

Всякая труба или фасонная часть, у которой окажется недостаточно хорошая остекловка или плавленіе въ какомъ бы то ни было отношеніи, или обнаружится употребленіе ненадлежащихъ матеріаловъ при изготовленіи и ненадлежащихъ способовъ изготовленія, должны быть забракованы. Пріемщики должны спеціально обращать особенное вниманіе на характеръ матеріала во внутренности трубы или фасонной части въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онъ обнажается при изломѣ пузыря, удаленіи плены и также на торцахъ задковъ такихъ трубъ.

Всѣ трубы, и фасонныя части, назначенныя для укладки въ прямыхъ частяхъ линіи, и проэктированныя прямыми, не должны показывать замѣтныхъ отклоненій отъ прямолинейности. Спеціальныя фасонныя части для кривыхъ и угловъ должны практически точно соотвѣтствовать углу заворота и вообще всѣмъ потребнымъ размѣрамъ.

Если будетъ выломана часть кольца, образующаго раструбъ трубы или фасонной части безъ поврежденія тѣла такой трубы, то послѣдняя должна быть забракована, если длина сказанной отломанной части или оставшейся поверхности излома будетъ больше одной десятой окружности сказаннаго раструба. Если же размѣры излома будутъ и меньше указанныхъ здѣсь крайнихъ предѣловъ, то все таки труба должна быть забракована, если окажется невозможнымъ вставить ее въ сѣть такъ, чтобы сказанный порокъ пришелся въ верхней части ея.

Вниманіе лица, слѣдящаго за укладкою сѣти канализаціи (inspector) спеціально должно быть направлено на выполненіе перечисленныхъ выше требованій относительно качества трубъ и фасонныхъ частей, которыя онъ допускаетъ въ сѣть и въ случаяхъ, когда возникаютъ сомнѣнія въ толкованіи приведенныхъ выше требованій, они разрѣшаются окончательно городскимъ контролеромъ работъ и Строительной Комиссіей. Эта комиссія сохраняетъ за собой право — во всякій моментъ производства работъ прибавить къ приведеннымъ выше требованіямъ всякія такія дальнѣйшія требованія и условія относительно качества сказанныхъ трубъ и фасонныхъ частей, каковыя она сочтетъ полезными въ интересахъ плательщиковъ, для обезпеченія предпріятія наилучшими матеріалами, какіе только можно имѣть въ практикѣ. Всѣ такія разъясненія или формулировки сказанныхъ требованій, въ случаяхъ сомнительнаго толкованія, вмѣстѣ со всѣми сказанными дальнѣйшими ограниченіями и условіями, относящимися къ качеству сказанныхъ трубъ и фасонныхъ частей, должны имѣть такую же силу, какъ будто бы они составляли часть настоящей спецификаціи и отъ подрядчика будетъ требоваться исполненіе ихъ безъ всякой приплаты къ цѣнамъ, заявленнымъ имъ на исполненіе работъ.

Укладка на канализаціонной линіи гончарныхъ трубъ и фасонныхъ частей. Передъ укладкой въ канаву всѣ трубы и фасонныя части, доставленныя на улицу, должны быть подвергнуты строгому осмотру со стороны пріемщика и подрядчика, и тѣ изъ нихъ, которыя не удовлетворятъ приведеннымъ выше требованіямъ, должны быть забракованы.

Слѣдуетъ производить еще и добавочное изслѣдованіе такихъ трубъ на присутствіе трещинъ и тщательно осматривать всѣ пузыри и плены. Передъ опусканіемъ въ канаву трубъ и фасонныхъ частей, которыя уже выдержали испытаніе, онѣ должны быть предварительно собраны на поверхности улицы въ томъ порядкѣ, въ какомъ онѣ будутъ употреблены въ дѣло, и для облегченія процесса укладки верхушка каждой трубы или фасонной части, послѣ сказанной приладки, должна быть ясно замѣчена мѣломъ или краской, такъ чтобы какъ можно меньше безпокоить трубы, предварительно собранныя и уложенныя на землѣ.

Всѣ трубы и фасонныя части, у которыхъ задки не могутъ быть вставлены въ раструбы еще на поверхности земли, должны быть забракованы, такъ какъ ни малѣйшей подрубки ни задковъ ни раструбовъ не допускается.

Торцы всѣхъ задковъ и всѣхъ заплечиковъ въ раструбахъ должны быть вѣрны и должны быть при сборкѣ доводимы до полнаго прикосновенія, и всѣ наросты или бугорки на этихъ торцахъ должны быть тщательно срѣзаны прочь передъ опусканіемъ трубъ въ канаву.

Во всѣхъ случаяхъ, гдѣ ободъ раструба выломанъ, какъ сказано раньше, трубы должны быть выброшены вонъ, если не окажется возможнымъ расположить изломанное мѣсто въ верхней части трубопровода. То же самое условіе должно соблюдаться и по отношенію къ лопнувшимъ пузырямъ и пленамъ, какъ сказано раньше, будутъ ли они на внутренней или на наружной поверхности трубъ и фасонныхъ частей. Всѣ фасонныя части, потребныя при работѣ, какъ то отвѣтвленія, загибы, кривыя, переходы (измѣнители діамстра) и т. п. должны быть подобнымъ же образомъ подчинены тѣмъ же условіямъ, какъ прямыя трубы.

Трубы и фасонныя части должны укладываться въ канавы такимъ образомъ, что послѣ того, какъ линія будетъ закончена, внутренняя поверхность ихъ соотвѣтствовала бы на днѣ точно уклону и направленію, установленнымъ и даннымъ городскимъ наблюдателемъ. Главная линія раздѣляется лазами для людей и отверстіями для лампъ и рукъ на извѣстное число отдѣльныхъ секцій или отдѣленій, въ каждомъ изъ которыхъ уклонъ и направленіе должны быть, при обыкновенныхъ условіяхъ, совершенно прямыми. Измѣненіе уклона или направленія, или того и другого вмѣстѣ, въ

сказанной главной линіи вообще дѣлаются въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ находятся лазы или ламповыя и ручныя отверстія, хотя, при спеціальныхъ условіяхъ, которыя опредѣляются Строительной Комиссіей и городскимъ наблюдателемъ, такія перемѣны могутъ быть сдѣланы и въ промежуточныхъ мѣстахъ.

Въ то время, какъ укладываются трубы и фасонныя части въ каждой изъ упомянутыхъ сейчасъ прямыхъ секцій или отдѣленій главной линіи, подрядчикъ долженъ все время держать горящую свѣчу или лампу у начала каждой секціи, и каждая труба и фасонная часть должны быть укладываемы такимъ образомъ, чтобы такая свѣча или лампа все время оставалась бы ясно видимой сквозь всю длину секціи или отдѣленія. Такая же повѣрка должна примѣняться и во время засыпки канавы землею, такъ что когда канализаціонный трубопроводъ совершенно законченъ и принятъ Строительной Комиссіей, свѣтъ, вставленный въ одномъ концѣ секціи главной линіи долженъ быть ясно видимъ, если смотрѣть сквозь сказанную главную линію съ другого конца секціи или отдѣленія. Длина каждой такой секціи или, все равно, разстояніе между лазомъ для людей и ближайшей слѣдующей ламповой или ручной дырой, или же между двумя сосѣдними (послѣдовательными) отверстіями такого рода въ главной линіи канализаціи обыкновенно не превосходитъ 300 футъ, хотя въ спеціальныхъ случаяхъ оно можетъ быть и нѣсколько больше.

Канавы, во всѣхъ случаяхъ, должны быть достаточно широки для того, чтобы возможно было производить укладку трубъ и фасонныхъ частей такимъ образомъ, какъ упомянуто выше, а гдѣ онѣ не вырыты такими, всѣ необходимыя расширенія ихъ должны быть сдѣланы раньше, нежели въ нихъ будутъ опущены трубы и фасонныя части. Подобнымъ же образомъ, достаточное пространство должно быть оставлено съ каждой стороны сказанныхъ трубъ и фасонныхъ частей, какъ для возможности надлежащимъ образомъ производить засыпку земли подъ трубы, такъ и для полученія свободнаго доступа ко всѣмъ частямъ раструбовъ во время устройства цементнаго заполненія въ раструбѣ. Тамъ, гдѣ потребуется дополнительная выемка земли или расширеніе боковъ канавы для полученія сказанныхъ возможностей, онѣ должны быть произведены вполнѣ удовлетворительно раньше, нежели трубы и фасонныя части будутъ положены или поставлены на мѣсто, такъ какъ никакая подрѣзка боковъ канавъ не будетъ допускаться послѣ того, какъ трубы и фасонныя части будутъ опущены и установлены.

Кромѣ того, прежде чѣмъ каждая труба или фасонная часть будутъ поставлены на мѣсто, должна быть сдѣлана небольшая выемка въ днѣ предварительно выравненной съ надлежащимъ уклономъ канавы, въ которую должна помѣститься выступающая часть раструба, такъ чтобы каждая труба имѣла бы твердую и равномѣрную опору въ сказанномъ выровненномъ днѣ по всей своей длинѣ, насколько это только возможно. Всякая вывѣрка трубъ въ линію и по надлежащему уклону должна дѣлаться тѣмъ, что выгребаютъ землю изъ подъ трубы или подсыпаютъ ее подъ трубу, но никакихъ клиньевъ или подкладокъ подъ раструбами не должно допускаться. На эту сторону работы должно быть обращено особенное вниманіе, такъ какъ устойчивость и долговѣчность канализаціонной линіи весьма много зависятъ отъ способа, какимъ были уложены трубы.

Соединенія трубъ между собою и съ фасонными частями должны во всѣхъ случаяхъ быть сдѣланы водонепроницаемыми посредствомъ полнаго заполненія всего кольцевого пространства между внѣшней поверхностію задка и внутренней раструба гидравлическимъ цементнымъ растворомъ, составъ котораго указанъ ниже. Для того, чтобы воспрепятствовать цементу пробраться во внутрь трубы, подрядчикъ можетъ, если пожелаетъ, употреблять узкую плетенку изъ пеньки или пакли, которою долженъ быть хорошо проконопаченъ каждый стыкъ трубъ, послѣ чего въ него уже вводится растворъ; но никакой добавочной платы за такую конопатку не полагается. Особенное стараніе нужно приложить къ тому, чтобы заполнить кольцевое пространство въ нижней

половинѣ линіи трубъ такъ же хорошо какъ и въ верхней; и передъ введеніемъ раствора сказанное пространство, равно какъ и поверхности трубъ, ограничивающія его, должны быть совершенно очищены отъ пыли, песку, земли, сору, мелкихъ камней и воды. Послѣ того, какъ сказанныя пространства заполнены, какъ указано выше, стыкъ долженъ быть аккуратно и хорошо отдѣланъ окончательно при помощи нанесенія дальнѣйшаго подобнаго же раствора на торецъ раструба, такъ чтобы образовалась сплошная гладкая коническая поверхность съ постояннымъ откосомъ, идущая отъ наружной окружности раструба до наружной поверхности вставленной въ него трубы. Самыя трубы также должны быть тщательно очищены передъ укладкой, и всякіе слѣды раствора, земли или другого матеріала, нашедшіе себѣ доступъ въ трубу или фасонную часть сквозь стыкъ или инымъ путемъ, должны быть старательно удалены прежде чѣмъ слѣдующая по очереди труба будетъ ставиться на мѣсто, такъ чтобы внутренность линіи трубъ была бы ровной и чистой.

Какъ скоро заполненіе цементомъ стыка главной линіи или же отвѣтвленія закончено, выемка, сдѣланная предварительно въ днѣ канавы для воспринятія раструба, должна быть старательно и плотно заполнена пескомъ, глиною или мелкой землею, для того чтобы надежно держать наружное цементное заполненіе сказаннаго стыка на мѣстѣ; и такое заполненіе должно быть также сдѣлано и выше, по бокамъ или по всей окружности раструба, смотря по тому, какъ окажется нужнымъ. Вода, которая можетъ оказаться скопившеюся въ сказанныхъ углубленіяхъ, должна быть предварительно удалена, или же сказанныя углубленія должны быть заполнены вполнѣ цементнымъ растворомъ установленнаго состава, за что никакой добавочной платы не полагается.

Когда труба или фасонная часть, укладываемая въ главной или же во второстепенной линіи, имѣетъ порокъ въ видѣ излома раструба, или лопнувшаго пузыря или плены, или огневой трещины на внѣшней поверхности съ указанными выше допустимыми размѣрами такихъ пороковъ, то такая труба или фасонная часть должны быть уложены такимъ образомъ, чтобы сказанный допустимый порокъ пришелся въ верхней части трубы; и сверхъ того, этотъ порокъ долженъ быть полностію въ изобиліи покрытъ толстымъ слоемъ гидравлическаго цементнаго раствора, того же качества, которое требуется и для заливки стыковъ, и такъ, чтобы это было вполнѣ одобрено и городскимъ наблюдателемъ и Строительной Комиссіей.

По мѣрѣ того, какъ работа идетъ впередъ, всѣ потребныя спеціальныя фасонныя части, указанныя на планѣ улицы, или которыя вообще могутъ понадобиться во время процесса постройки, должны быть вставляемы и вывѣряемы въ своемъ надлежащемъ положеніи.

Всѣ пропуски фасонныхъ частей, которыя должны были быть уложены и были показаны на планѣ канализаціонной сѣти, или которыя спеціально были предварительно указаны наблюдателемъ, должны быть исправлены подрядчикомъ безъ особаго вознагражденія; но въ томъ случаѣ, когда какая нибудь фасонная часть, непоказанная на сказанномъ планѣ и не указанная ясно напередъ наблюдателемъ, какъ часть, которая должна была быть своевременно вставлена въ линію, будетъ вставлена въ нее уже послѣ укладки, то издержки по такой вставкѣ платятся Строительной Комиссіей послѣ надлежащаго удостовѣренія работы наблюдателемъ.

Передъ тѣмъ, какъ работа покидается на ночь, или же по причинѣ грозы или по какой либо иной причинѣ, должны быть приняты мѣры къ тому, чтобы незаконченный конецъ главной линіи, или, все равно, второстепенной линіи канализаціонной сѣти былъ бы надежно закрытъ плотно приходящейся желѣзной или деревянной пробкой. Вся земля, или что либо иное, попавшее въ трубы сквозь такой оставленный не закрытымъ конецъ трубы, должна быть удалена изъ нея за счетъ подрядчика. Стоимость всѣхъ такихъ пробокъ и работы, связанной съ постановкой ихъ, должны быть включены подрядчикомъ въ нормальныя цѣны, заявляемыя имъ для канализаціонныхъ работъ.

§ 100. Цементныя трубы.

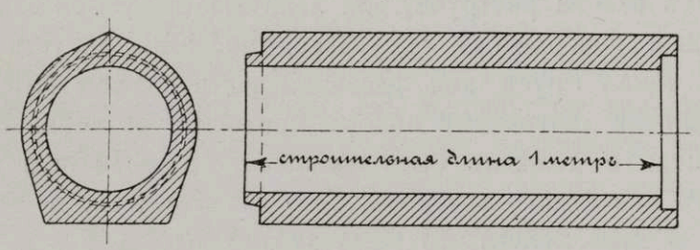
Трубы изъ цемента предпочитаются глинянымъ въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ діаметръ трубопровода довольно великъ; такъ, начиная съ діаметра приблизительно въ 500mm, многіе инженеры рекомендуютъ уже употреблять цементныя трубы вмѣсто глиняныхъ. Преимуществами цементныхъ трубъ по сравненію съ глиняными, являются:

1). **Дешевизна.** При діаметрѣ около 100mm гончарная и цементная труба стоятъ за погонный метръ приблизительно одинаково; затѣмъ разница идетъ въ пользу цементной трубы; при діаметрѣ въ 350—400mm цементная труба стоитъ вдвое дешевле гончарной, а при діаметрѣ въ 800mm и болѣе — втрое дешевле, на единицу длины (цифры эти, конечно, приблизительныя, такъ какъ цѣны вообще зависятъ отъ мѣстныхъ условій).

2). Бо́льшая **способность сопротивляться внѣшнимъ сплющивающимъ трубу силамъ,** нежели у гончарныхъ трубъ.

3). **Бо́льшая быстрота и простота изготовленія** цементныхъ трубъ, которыя, также какъ и бетонныя, можно готовить прямо на мѣстѣ, въ канавѣ, гдѣ онѣ должны лежать.

Цементныя трубы изготовляются или въ видѣ обыкновенныхъ трубъ съ круглымъ сѣченіемъ, или же иногда получаютъ внизу расширенное основаніе, которымъ труба укладывается на дно канавы, чер. 220, хотя встрѣчаются трубы и съ яйцевиднымъ сѣченіемъ. Обыкновенно цементныя трубы отливаютъ (изъ смѣси цемента съ пескомъ) въ формы, совершенно подобно тому, какъ изъ чугуна льютъ чугунныя трубы; иногда же составляютъ трубы изъ двухъ половинъ, отформованныхъ отдѣльно; наконецъ, иногда труба дѣлается на мѣстѣ, въ той же канавѣ, гдѣ она должна потомъ лежать *; этотъ послѣдній способъ примѣняется преимущественно при трубахъ бетонныхъ и о немъ тамъ и будетъ говорено подробнѣе. Трубы обглаживаются и полируются особой желѣзной гладилкой.



Чер. 220.

Соединенія цементныхъ трубъ обыкновенно производятся такимъ образомъ, что трубы не получаютъ ссобыхъ раструбовъ, а двѣ круглыя трубы попросту прислоняются одна къ другой въ стыкъ, и промежутокъ между ними заполняется цементомъ, для чего иногда дѣлаютъ выточку клиновиднаго сѣченія подобно тому, какъ на фиг. 16 и 19, табл. 98; иногда же дѣлаютъ нѣчто вродѣ раструба, такъ что на концѣ одной трубы имѣется углубленіе, куда входитъ задокъ слѣдующей трубы и затѣмъ промежутокъ заполняется цементомъ; такое устройство видно на чер. 220.

Въ тѣхъ случаяхъ когда жидкость заполняетъ меньше половины высоты поперечнаго сѣченія трубы, дѣлаютъ, подобно тому, какъ и у гончарныхъ трубъ, раструбъ только на нижней половинкѣ цементной трубы, составляя здѣсь и самую трубу изъ двухъ половинъ, нижней и верхней; подобная труба, только бетонная, показана въ *Атласѣ*, табл. 98, фиг. 16—19.

Понятіе объ обычныхъ, принятыхъ въ практикѣ, размѣрахъ цементныхъ трубъ дастъ нижеслѣдующая таблица:

---

* Одно изъ новыхъ приспособленій подобнаго рода, для изготовленія цементныхъ трубъ на мѣстѣ, описано въ журналѣ „The Engineering Record“, 1906 г., March 10.

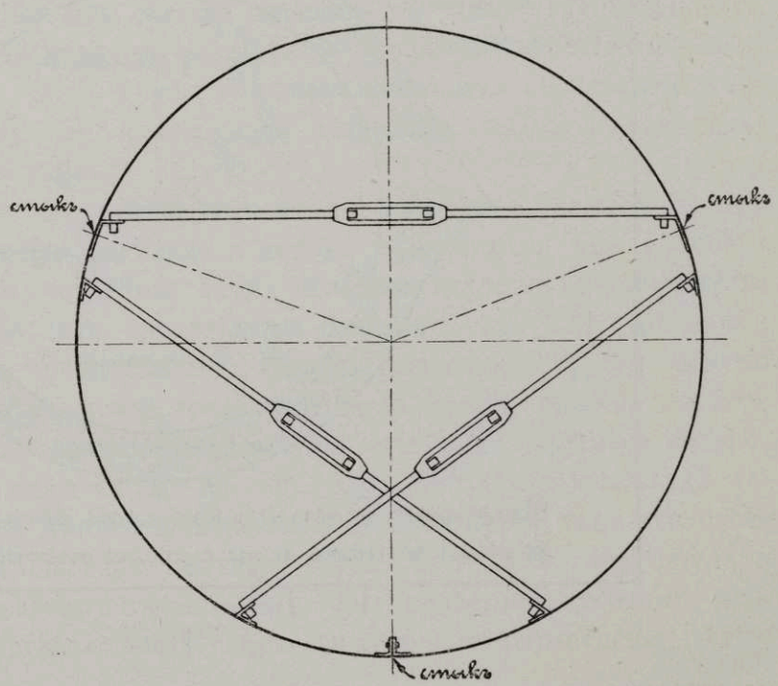
Внутренній діаметръ въ mm	75	100	120	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600	800	1000
Толщина стѣнки въ mm	20	24	24	26	30	30	35	38	42	42	44	46	52	58	70	80

Длина трубъ бываетъ обыкновенно около 1 метра, а иногда и болѣе.

Входить здѣсь въ бо́льшія подробности по поводу цементныхъ трубъ я не имѣю возможности; интересующіеся найдутъ весьма полное собраніе данныхъ относительно примѣненія такихъ трубъ въ Германіи въ брошюрѣ проф. Max Gary *, въ которой приведены результаты опроса свыше чѣмъ 200 городовъ и мѣстечекъ Германіи относительно результатовъ, достигнутыхъ съ примѣненіемъ цементныхъ и бетонныхъ трубъ; тамъ же даны и подробныя указанія относительно испытаній прочности такихъ трубъ. Замѣтимъ здѣсь только, что въ среднемъ, трубы съ діаметрами около 600—700mm должны выдерживать до излома сдавливающую нагрузку, приложенную въ вершинѣ трубы прямо на образующую, безъ сѣдла, около 6000—6500kg на одинъ квадратный метръ діаметральнаго сѣченія (или, все равно, горизонтальной проекціи, такъ какъ труба испытывается въ лежачемъ положеніи).

Бетонныя и желѣзобетонныя трубы.

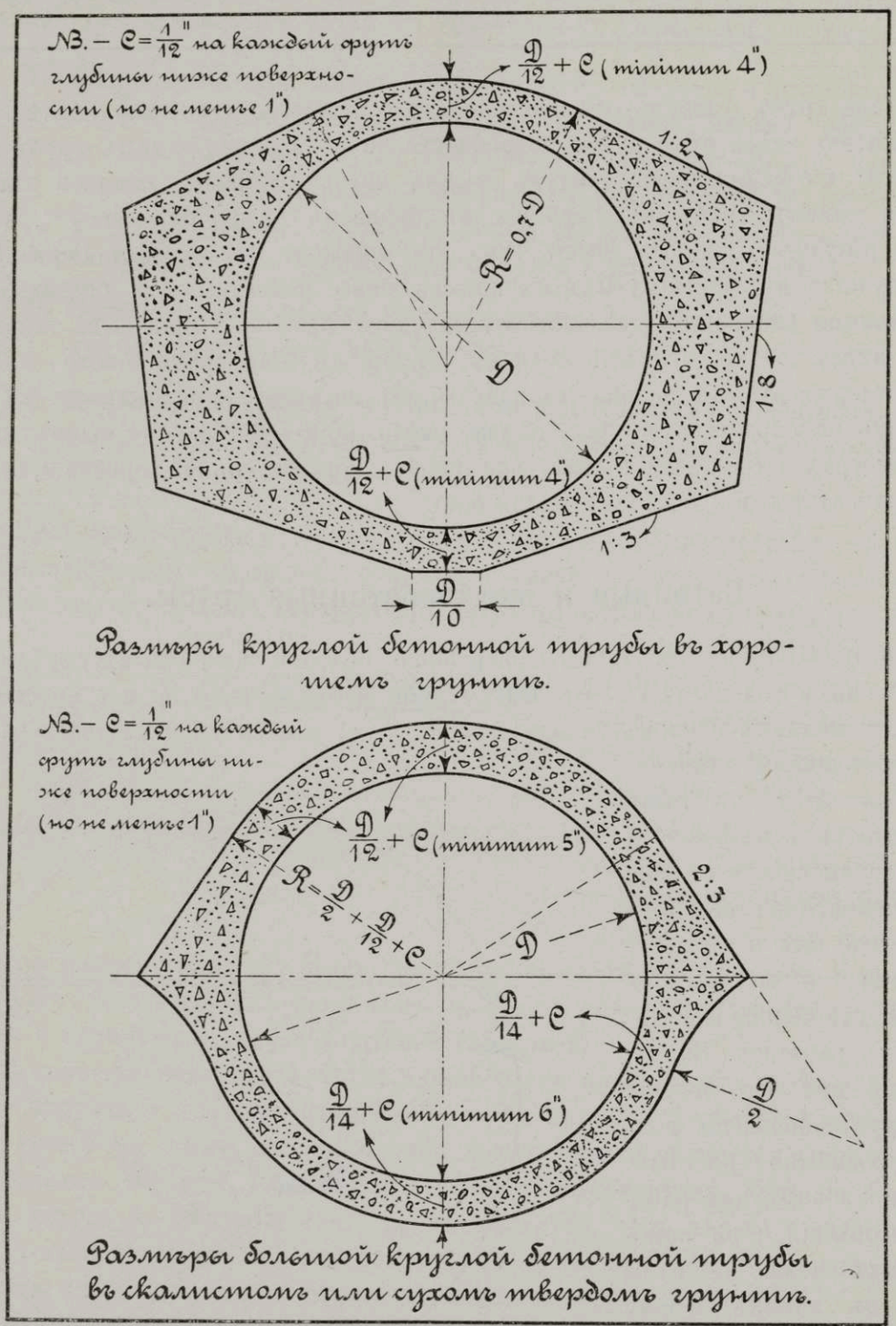
§ 101. Бетонныя трубы совершенно подобны цементнымъ трубамъ и отличаются отъ нихъ только тѣмъ, что здѣсь трубы изготовляются не изъ чистаго цемента въ смѣси съ мелкимъ пескомъ, а изъ *бетона*, т. е. изъ смѣси цементнаго раствора съ мелкими камешками, кирпичнымъ боемъ и т. п. Такія трубы бываютъ и круглаго и яйцевиднаго сѣченія, и отличіе ихъ отъ цементныхъ состоитъ въ томъ, что онѣ изготовляются всегда *на мѣстѣ*, въ той канавѣ, гдѣ имъ предназначено потомъ работать. Вслѣдствіе этого, при изготовленіи такихъ трубъ большую роль играютъ возможно простыя, дешевыя и удобныя для работы приспособленія, при помощи которыхъ можно было бы получить въ канавѣ форму внутренняго очертанія трубы и затѣмъ вокругъ этого стержня штамповать изъ бетона требуемую трубу. Такихъ приспособленій, центровъ или стержней, для полученія бетонныхъ трубъ имѣется нѣсколько системъ. Одна изъ нихъ описана въ журналѣ „Engineering News“, 1895 г., April 4 (а для кирпич-



Чер. 221.

* Zementröhren, ihre Verwendung, Prüfung und Bewertung in der Praxis. Von Professor Max Gary. Berlin 1907.

ныхъ трубъ — въ журналѣ „Engineering“ 1899 г., Nov. 10). Изъ спеціальныхъ приспособленій такого рода заслуживаютъ вниманія весьма хорошо разработанные спеціальные быстро разбирающіеся стержни или центры Американской фирмы „Blaw Collapsible Steel Centering Co“ *, понятіе о которыхъ даетъ чер. 221. Въ каталогѣ фирмы, носящемъ названіе „Concrete Sewer Construction“, имѣются весьма обстоятель-



Размѣры круглой бетонной трубы въ хорошемъ грунтѣ.

Размѣры большой круглой бетонной трубы въ скалистомъ или сухомъ твердомъ грунтѣ.

Чер. 222.

ныя свѣденія не только о разнообразныхъ формахъ устраиваемыхъ фирмою центровъ и ихъ примѣненіи, но также и о всѣхъ деталяхъ изготовленія бетонныхъ трубъ, весьма подробныя спецификаціи для выбора цемента, песку, гравія, для приготовленія бетона и пр. Каталогъ представляетъ большой интересъ, но здѣсь въ подробности входить нѣтъ возможности. Приведемъ только на чер. 222 данныя относительно обычныхъ толщинъ стѣнокъ бетонныхъ трубъ, рекомендуемыя этимъ каталогомъ.

* Office: Westinghouse Building, Pittsburg, Pa.

Большимъ распространеніемъ, въ особенности въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ труба должна сопротивляться замѣтному внутреннему разрывающему давленію, пользуются трубы *желѣзобетонныя*, т. е. трубы, стѣнки которыхъ состоятъ изъ слоя бетона, внутри котораго проложенъ *желѣзный каркасъ* или остовъ. Такой каркасъ обыкновенно состоитъ изъ двухъ системъ желѣзныхъ стержней: поперечные или круговые стержни идутъ въ видѣ колецъ по окружности трубы и воспринимаютъ на себя бо́льшую часть силы, разрывающей трубу по діаметральному сѣченію (работая подобно обручамъ деревянныхъ трубъ, описанныхъ далѣе); продольные же стержни идутъ вдоль трубы, по образующимъ ея, и служатъ для связи поперечныхъ стержней между собою и для приданія трубѣ жесткости въ продольномъ направленіи.

Конструкцій желѣзобетонныхъ трубъ довольно много; нѣкоторыя изъ нихъ мы здѣсь вкратцѣ опишемъ.

Въ *Атласѣ*, на фиг. 15 табл. 98, показана одна изъ старыхъ конструкцій, канализаціонная труба Парижа (около 1896 года). Труба состоитъ изъ оболочки, сдѣланной изъ листовой стали *; внутри и снаружи эта оболочка покрыта слоемъ чистаго цементнаго раствора, безъ примѣси камней, такъ что эта труба, собственно, жезѣзоцементная. Для воспринятія разрывающей силы имѣется рядъ колецъ изъ желѣза крестообразнаго сѣченія. Въ расчетъ вводятся только наружныя кольца. Продольные бруски тоже имѣютъ крестообразное сѣченіе. На фигурѣ показанъ стыкъ двухъ такихъ трубъ.

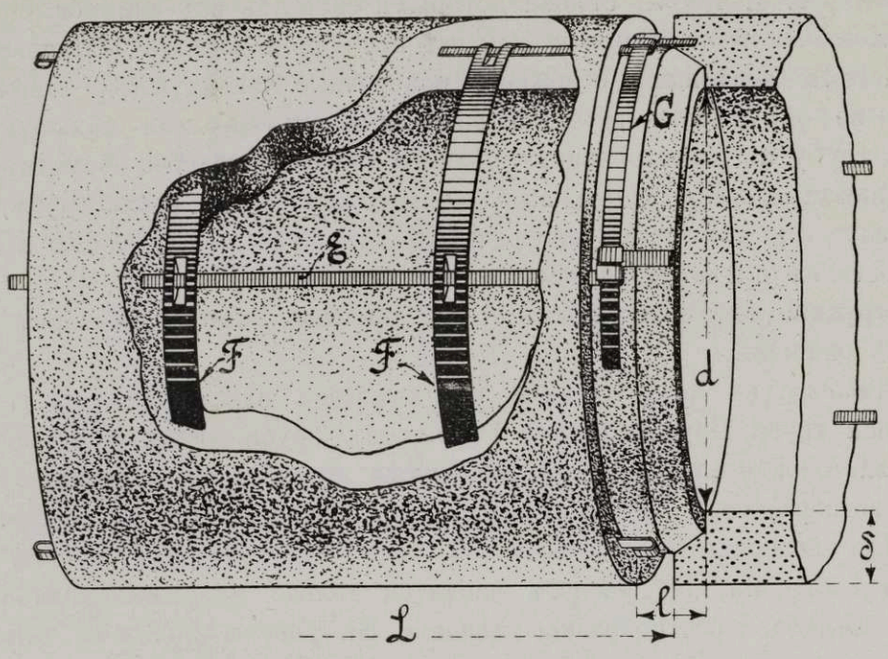
На фиг. 20—21 табл. 98 представлена желѣзобетонная труба для подвода воды къ турбинамъ подъ напоромъ въ 2 атмосферы; діаметръ трубы очень великъ— 3,3 метра. Круговыя (поперечныя) усиленія состоятъ изъ круглаго желѣза, заваренаго въ кольца; продольные стержни — тоже круглые, діаметромъ отъ 11 до 22,5mm; эти продольные и поперечные бруски (связанные другъ съ другомъ) образуютъ сѣтку съ прямоугольными клѣтками 100×110mm. Толщина слоя бетона мѣняется отъ 200 до 250mm.

Въ настоящее время одною изъ самыхъ простыхъ и весьма раціональныхъ конструкцій желѣзобетонныхъ трубъ является конструкція Американскаго завода „Reinforced Concrete Pipe Co.“, Jackson, Mich. Трубы готовятся массовымъ образомъ и отличаются большою простотой. Опишу эту конструкцію подробнѣе, пользуясь данными, любезно предоставленными мнѣ заводомъ.

Трубопроводъ составляется изъ отдѣльныхъ секцій или трубъ, каждая въ три фута длиною; эти трубы изготовляются отдѣльно и затѣмъ соединяются между собою. Каждая секція есть бетонная труба, усиленная двумя кольцами идущими по окружности, изъ полосового желѣза, и имѣющая пять продольныхъ брусковъ, чер. 223; детальные размѣры ихъ приведены далѣе, въ спецификаціяхъ фирмы. Продольные бруски загнуты на обоихъ концахъ въ видѣ крючковъ и при соединеніи двухъ секцій крючки эти подводятся одинъ къ другому и сквозь нихъ просовывается еще одно круговое кольцо, которое и сцѣпляетъ двѣ трубы, какъ видно на чер. 223. Кольцевая щель, гдѣ лежитъ мѣсто соединенія, заполняется потомъ цементомъ и заглаживается, такъ что окончательно получается на видъ какъ бы одна цѣльная труба. Суть дѣла такъ проста и понятна, что не требуется дальнѣйшаго разъясненія. Мы приведемъ, поэтому, еще только подробныя спецификаціи, установленныя самою фирмою для изготовленія этихъ трубъ.

---

* Назначеніе этой оболочки остается неизвѣстнымъ и мало понятнымъ, такъ какъ въ расчетъ на разрывъ она не вводится, какъ видно изъ описанія трубы (см. напр. „Engineering News“, 1898 г., March 17).



Чер. 223.

Детальные размѣры нормальныхъ желѣзобетонныхъ трубъ, изготовляемыхъ фирмою

The Reinforced Concrete Pipe Co.,
Jackson, Mich.

(всѣ размѣры въ Англійскихъ дюймахъ).

Размѣры трубъ				Размѣры усилсній		
Діаметръ *d*	Длина *L*	Толщина стѣнки *δ*	Длина выступа *l*	Бруски *E*	Полосы *F*	Соединяющія кольца *G*
24	36	$2^1/_2$	3	$^1/_8 \times ^1/_2$	$^1/_{16} \times 1^1/_2$	$^1/_8 \times ^3/_8$
27	36	3	$3^1/_8$	$^1/_3 \times ^1/_2$	$^1/_{16} \times 1^1/_2$	$^1/_8 \times ^1/_2$
30	36	$3^1/_2$	$3^3/_4$	$^1/_8 \times ^5/_8$	$^1/_8 \times 1^1/_2$	$^1/_8 \times ^5/_8$
33	36	$3^3/_4$	4	$^1/_4 \times ^1/_2$	$^1/_8 \times 1^1/_2$	$^1/_8 \times ^3/_4$
36	36	4	$4^1/_8$	$^1/_4 \times ^1/_2$	$^1/_8 \times 1^1/_2$	$^1/_8 \times ^3/_4$
39	36	$4^1/_4$	$4^1/_4$	$^1/_4 \times ^1/_2$	$^1/_8 \times 1^1/_2$	$^1/_8 \times ^3/_4$
42	36	$4^1/_2$	$4^3/_8$	$^1/_4 \times ^1/_2$	$^1/_8 \times 1^1/_2$	$^1/_8 \times ^3/_4$
48	36	5	$4^3/_4$	$^1/_4 \times ^3/_4$	$^1/_8 \times 1^3/_4$	$^1/_8 \times ^7/_8$
54	36	$5^1/_2$	$4^7/_8$	$^1/_4 \times ^3/_4$	$^1/_8 \times 1^3/_4$	$^1/_8 \times ^7/_8$
60	36	6	5	$^1/_4 \times ^3/_4$	$^1/_8 \times 2$	$^1/_8 \times 1$
66	36	$6^1/_2$	$5^1/_8$	$^1/_4 \times ^3/_4$	$^1/_8 \times 2$	$^1/_8 \times 1$
72	36	7	$5^1/_4$	$^1/_4 \times ^3/_4$	$^1/_8 \times 2^1/_4$	$^1/_8 \times 1$

Спецификаціи для трубъ фирмы Reinforced Concrete Pipe Co.

Трубы.— Трубы должны быть изготовлены изъ бетона, усиленнаго продольными стержнями и поперечными кольцами. Онѣ должны изготовляться секціями опредѣленной длины, и продольное усиленіе должно быть расположено такимъ образомъ, чтобы одна секція могда зацѣпляться съ другою, и должно быть устроено такъ, чтобы послѣ сцѣпленія и покрытія цементомъ секціи образовали бы одну непрерывную линію трубъ. Толщина должна быть такая, какъ указано въ прилагаемой таблицѣ.

Бетонъ.— Бетонъ, идущій на изготовленіе трубъ, долженъ имѣть одинъ изъ двухъ нижеслѣдующихъ составовъ:

A — 1 часть Портландскаго цемента,
2,5 части чистаго мелкаго песку,
5 частей измельченнаго камня или чистаго мелкаго гравія не больше одного дюйма діаметромъ.

B — 1 часть Портландскаго цемента,
5 частей песчанаго гравія, взятаго прямо изъ канавы.

Количество цемента въ смѣси можетъ быть увеличено, если инженеръ дастъ на это письменный приказъ, въ каковомъ случаѣ уплата должна производиться по дѣйствительной стоимости добавочнаго цемента. Мелкій камень изъ камнедробилокъ или измельченный шлакъ діаметромъ менѣе одного дюйма могутъ быть употреблены, если послѣдуетъ письменное согласіе инженера.

Смѣшиваніе.— Бетонъ долженъ перемѣшиваться въ бакахъ, достаточно большихъ для того, чтобы вмѣстимости ихъ хватило на одну полную секцію. При перемѣшиваніи руками, таковое должно производиться на плотной доскѣ, спеціально сдѣланной для этой цѣли. Прежде всего на доску долженъ быть нанесенъ тонкимъ слоемъ песокъ, а затѣмъ на него разсыпанъ цементъ и все это перемѣшано, пока не получитъ однообразной окраски. Камень, который долженъ быть предварительно высушенъ, прибавляется послѣ этого вмѣстѣ съ потребнымъ количествомъ воды и все перемѣшивается до тѣхъ поръ, пока всѣ частицы покроются цементомъ и смѣсь получитъ равномѣрную консистенцію. Всякая машина для перемѣшиванія должна быть одобрена инженеромъ. Если употребляется машина съ непрерывнымъ смѣшиваніемъ, то она должна перемѣшать матеріалы до однообразнаго цвѣта ранѣе, нежели будетъ прибавлена вода, и должна перемѣшивать сухую смѣсь до тѣхъ поръ, пока всѣ частицы хорошо покроются цементомъ и смѣсь будетъ показывать вездѣ одинаковую степень влажности. Всѣ составныя части, въ должной пропорціи, должны постоянно подбавляться. По крайней мѣрѣ черезъ каждыя двадцать минутъ смѣшиватель долженъ быть останавливаемъ и платформа, на которую подается бетонъ, должна быть дочиста очищаема, такъ чтобы на ней не могъ никогда оставаться бетонъ настолько долго, что онъ могъ бы начать отвердѣвать.

Набивка въ формы.— Бетонъ долженъ вводиться въ формы и тщательно трамбоваться слоями, не превосходящими трехъ дюймовъ въ толщину и притомъ по возможности скорѣе послѣ того, какъ онъ смѣшанъ. Никоимъ образомъ не слѣдуетъ допускать употребленія бетона въ дѣло, разъ онъ началъ уже отвердѣвать. Готовая труба должна поддерживаться мокрою по крайней мѣрѣ въ продолженіи шести дней.

Формы.— Формы должны состоять изъ чугунныхъ нижнихъ колецъ и стальныхъ листовъ, прокатанныхъ въ правильную круговую форму того діаметра, который требуется. Онѣ должны держаться въ надлежащемъ положеніи вполнѣ твердо, такъ чтобы не могли терять свою форму, когда на нихъ будетъ наноситься бетонъ.

Цементъ.— Весь цементъ, идущій въ дѣло, долженъ быть непремѣнно изъ извѣстныхъ и хорошихъ сортовъ Портландскаго цемента. Онъ долженъ надлежащимъ образомъ храниться въ сухомъ и хорошо вентилируемомъ помѣщеніи и долженъ быть надежно укрытъ отъ непогоды. Во всякій моментъ времени на мѣстѣ работъ не должно находиться цемента больше, нежели нужно для одного рабочаго дня. Цементъ, который слежится кусками въ мѣшкахъ, не долженъ быть пускаемъ въ дѣло. Весь цементъ долженъ удовлетворять требованіямъ спецификацій, содержащихся въ „Professional Papers of the Corps of Engineers, U. S. A., № 28".

Усиленія.— Усиленія должны состоять изъ стали въ видѣ плоскихъ брусковъ и полосъ. Эти бруски должны имѣть крѣпость на разрывъ отъ 60000 до 70000 фунтовъ на □ дюймъ, предѣлъ упругости равный 50% отъ этой величины и удлиненіе въ 22%. Усиленія должны имѣть размѣры и расположеніе такія, какъ показано на прилагаемомъ детальномъ чертежѣ. Они должны твердо держаться въ своемъ положеніи такъ чтобы равномѣрно распредѣляться по всѣмъ секціямъ. Продольные бруски должны имѣть загнутые въ видѣ крючковъ концы съ обѣихъ сторонъ для того, чтобы сцѣпляться со смежными секціями. Поперечныя (круговыя) полосы должны имѣть въ себѣ продавленныя на равныхъ разстояніяхъ щели, сквозь которыя должны проходить продольные бруски.

Укладка.— Секціи должны укладываться задкомъ къ сторонѣ выпуска и одинъ изъ продольныхъ брусковъ долженъ находиться въ верхней части трубы. Послѣ того, какъ секція уложена, соединительный щитокъ, спеціально сдѣланный для этой цѣли, долженъ быть надѣтъ на трубу такъ, чтобы половина его ширины выдавалась бы за трубу. Затѣмъ слѣдующая секція должна быть прилажена къ уже уложенной, такъ чтобы выступающіе крючки продольныхъ стержней подходили вплотную къ соотвѣтствующимъ крючкамъ уже уложенной секціи. Послѣ этого сквозь эти крючки проводится соединительная полоса, которая и соединяетъ двѣ секціи. Соединительный щитокъ туго стягивается вокругъ трубы и мѣсто стыка промывается водою. Жидкій растворъ заливается въ стыкъ и щитокъ оставляютъ на мѣстѣ до тѣхъ поръ, пока растворъ не окрѣпнетъ. Слѣдуетъ стараться, чтобы стыки были полностію заполнены растворомъ. Всѣ стыки должны быть водонепроницаемыми.

§ 102. Главнымъ преимуществомъ желѣзобетонныхъ трубъ по сравненію съ трубами гончарными и чугунными является ихъ *меньшая стоимость* (при томъ же діаметрѣ, отнесенная къ единицѣ длины); такъ, приблизительно, по сравненію съ гончарными трубами желѣзобетонныя могутъ стоить въ два и даже болѣе раза дешевле, а по сравненію съ чугунными могутъ оказаться дешевле въ 10 и болѣе разъ. Различныхъ второстепенныхъ соображеній здѣсь касаться не будемъ.

Неудобствами желѣзобетонныхъ трубъ по сравненію съ просто бетонными, неусиленными желѣзной сѣткой, являются:

1). Бо́льшая продолжительность изготовленія;
2). Значительная стоимость металла; увеличивши толщину стѣнки простой бетонной трубы иногда возможно достигнуть съ бо́льшей выгодой тѣхъ же результатовъ, какъ и при желѣзобетонѣ;
3). Необходимость болѣе аккуратной работы ввиду большей сложности устройства.

Напротивъ, желѣзобетонныя трубы заслуживаютъ безусловнаго предпочтенія передъ бетонными въ тѣхъ случаяхъ, когда внутри трубы имѣется довольно значительное разрывающее давленіе, или когда возможно ожидать осадки грунта, давленія грунта съ

одной стороны ввиду возможности послѣдующаго разрытія земли, и т. п. Вѣсъ желѣзобетонныхъ трубъ, въ особенности при большихъ діаметрахъ, значительно меньше, нежели бетонныхъ и цементныхъ (раза въ два и даже болѣе), что имѣетъ значеніе при перевозкѣ и укладкѣ. Цѣна бетонныхъ и желѣзобетонныхъ трубъ приблизительно одинакова (на единицу длины), хотя зависитъ, конечно, отъ системы желѣзобетонной трубы и отъ мѣстныхъ условій.

Слѣдуетъ еще упомянуть объ опытахъ инженера Квинтона (см. далѣе, въ литературѣ). Онъ производилъ въ 1905 году многочисленные опыты надъ желѣзобетонными трубами и пришелъ относительно ихъ достоинствъ не къ особенно блестящимъ результатамъ, между прочимъ въ смыслѣ герметичности. Отсылая за подробностями къ журнальнымъ статьямъ, приведу здѣсь только тѣ указанія, которыя онъ даетъ относительно изготовленія такихъ трубъ.

На основаніи своихъ опытовъ инженеръ Quinton вывелъ слѣдующія заключенія относительно тѣхъ предосторожностей, которыя необходимо принимать при изготовленіи бетонныхъ и желѣзобетонныхъ трубъ:

1). Не слѣдуетъ позволять солнечнымъ лучамъ падать на бетонъ въ то время, когда онъ перемѣшивается и вводится въ форму. Въ случаѣ надобности слѣдуетъ, для достиженія этого, строить надъ мѣстомъ работы временную крышу.

2). Если желѣзобетонная труба не можетъ быть изготовлена непрерывно, посредствомъ машины, то ручную штамповку слѣдуетъ, насколько возможно, производить по радіальному направленію. Если приходится штамповать перпендикулярно къ радіусу, все равно, по окружности, или по образующей, то слѣдуетъ, насколько возможно, избѣгать образованія швовъ или рубцовъ, которые могутъ получиться отъ того, что произойдетъ запозданіе въ постановкѣ формъ и прибавленіи свѣжаго матеріала. Если держать бетонъ по возможности болѣе мокрымъ, то опасность отъ замедленія будетъ гораздо меньше, нежели при сухомъ бетонѣ.

3). Производить трамбованіе или штамповку бетона по возможности аккуратно, стараясь не изгибать продольныхъ стержней каркаса, и ставить продольныхъ стержней по возможности меньше, насколько это только совмѣстимо съ возможностію держать поперечные стержни въ надлежащемъ положеніи; исключеніе дѣлается только въ случаѣ вертикальныхъ закругленій на трубѣ, гдѣ на длинной сторонѣ колѣна слѣдуетъ ставить добавочные продольные стержни или проволочные канаты.

4). Не слѣдуетъ расчитывать на сопротивленіе бетона разрыву, а выбирать діаметръ поперечныхъ стержней и разстояніе между ними такимъ образомъ, чтобы въ каждомъ поперечномъ (идущемъ по окружности) стержнѣ удлиненіе его было бы не больше 0,04 дюйма при наибольшемъ давленіи, которое можетъ имѣть мѣсто въ трубѣ.

5). Дѣлать внутренній діаметръ трубы на $1^1/_2$ дюйма больше, нежели требуется по расчету, для того, чтобы имѣть запасъ въ мѣстѣ для наложенія внутри трубы двухъ слоевъ покрышки.

6). Какъ только труба изготовлена, нанести на внутренней поверхности ея слой покрышки въ полдюйма толщиною, состоящей изъ одной

части цемента и 1,5 частей песку, съ примѣсію небольшого количества известковаго раствора, тщательно охлажденныхъ, для того, чтобы замедлить схватываніе ихъ. Когда эта покрышка, которую можно и не выравнивать, высохнетъ, нанести второй слой, около четверти дюйма толщиною, состоящій изъ одной части цемента и одной части песку. Этотъ слой слѣдуетъ загладить такъ, чтобы получилась ровная поверхность, а когда онъ высохнетъ, то слѣдуетъ покрыть внутреннюю поверхность трубы толстой струей мелкаго цемента съ водою.

7). Слѣдуетъ озаботиться отводомъ изъ канавы, гдѣ лежитъ труба, той воды, которая можетъ протекать изъ трубы при первомъ пускѣ ея въ работу; если этого не будетъ сдѣлано, то основаніе подъ трубами можетъ быть размыто водою.

8). Дѣлать канаву такой глубины, чтобы надъ вершиною трубы нигдѣ не было бы высоты менѣе 2 футъ, считая отъ естественной поверхности грунта.

9). Въ мѣстностяхъ съ холоднымъ климатомъ принимать мѣры къ тому, чтобы труба могла быть опорожнена по окончаніи періода орошенія.

10). Смѣсь мыла и квасцовъ можетъ быть употреблена при изготовленіи бетона для того, чтобы увеличить непроницаемость трубы, но слѣдуетъ расчитывать не на это средство, а на слой покрышки внутри трубы.

11). Не слѣдуетъ употреблять желѣзобетонныя трубы для напоровъ свыше 70 футъ, исключая лишь короткія трубы, гдѣ можно идти до напора въ 100 футъ (водяного столба).

§ 103. Нѣкоторыя дальнѣйшія подробности о бетонныхъ и желѣзобетонныхъ трубахъ можно найти въ слѣдующихъ статьяхъ:

Engineering News.

1905 годъ, Январь 5.— Конструкція инж. W. C. Parmley, гдѣ трубы состоятъ по окружности изъ четырехъ частей, вродѣ большихъ кирпичей; указаны выгоды и есть чертежъ.

Мартъ 9.— Опыты инженера J. H. Quinton надъ прочностію желѣзобетонныхъ трубъ и условія правильнаго ихъ построенія (приведены на стр. 335—336); гораздо подробнѣе эта же статья имѣется въ журналѣ The Engineering Record, 1905 годъ, December 9.

1906 годъ, Октябрь 4.—Описаніе и чертежъ желѣзобетонной трубы въ 42 дюйма діаметромъ; достойны вниманія многочисленныя трещины въ этой трубѣ.

Декабрь 20.— Объ устройствѣ бетонныхъ трубъ вообще и спеціально о трубахъ подъ желѣзнодорожными насыпями.

1907 годъ, Августъ 1.—Желѣзобетонныя трубы оросительнаго канала въ Испаніи; детали расширителя этихъ трубъ (заимствовано изъ журнала Le Genie Civil).

Ноябрь 14.—Объ асфальтовомъ стыкѣ для бетонныхъ трубъ.

1908 годъ, Февраль 20.—О передвижномъ центрѣ для изготовленія желѣзобетонныхъ трубъ (детальный чертежъ) и описаніе самой трубы.

Мартъ 26.—Желѣзобетонныя трубы канализаціи г. Ватербури; детальный чертежъ расширителя изъ бетона же (мѣсто, гдѣ скользитъ одна часть по другой, одѣто листовымъ свинцомъ).

Декабрь 10.—Конструкція и изготовленіе желѣзобетонныхъ трубъ фирмы The Lock Joint Pipe Co., New York. Каркасъ состоитъ изъ листа расширеннаго металла (expanded metal), т. е. изъ листа съ діагональными надрѣзами, затѣмъ какъ бы растянутаго въ сѣтку; описаніе расширителя изъ бетона же.

The Engineering Record.

1906 годъ, Августъ 18.—Объ испытаніяхъ глиняныхъ и бетонныхъ трубъ. Весьма обстоятельная статья инж. H. Burchartz.

Относительно расчета желѣзобетонныхъ трубъ имѣются указанія въ журналѣ „Beton und Eisen“, 1906 годъ, стр. 218.

Въ заключеніе настоящей главы сдѣлаемъ еще нѣсколько замѣчаній, относящихся ко всякимъ канализаціоннымъ трубамъ, гончарнымъ, цементнымъ и бетоннымъ.

1). Относительно **сплющиванія** такихъ трубъ, котораго онѣ боятся въ достаточной степени, важно знать, какую нагрузку считать за вѣроятную для трубы, лежащей на извѣстной глубинѣ. Одни считаютъ, что полная нагрузка (отъ мертваго и подвижнаго груза вмѣстѣ) возрастаетъ съ глубиною, другіе—что полная нагрузка убываетъ. Въ этомъ послѣднемъ направленіи заслуживаютъ вниманія данныя, приводимыя инж. Блейхомъ въ журналѣ The Engineering Record за 1908 годъ. Нагрузка отъ мертваго груза (вѣсъ грунта) считается возрастающей по закону параболы, именно по уравненію

$$D = 83\,h - 2{,}54\,h^2,$$

а нагрузка отъ подвижнаго груза убывающей по закону параболы

$$L = 1000 + 3{,}72\,h^2 - 122\,h.$$

Въ этихъ формулахъ h означаетъ глубину заложенія трубы въ футахъ, D—мертвую нагрузку, а L—подвижную нагрузку (обѣ въ Англійскихъ фунтахъ на квадратный футъ горизонтальной площади).

Полную нагрузку Американцы предлагаютъ считать равной мертвому грузу плюсъ двойная подвижная нагрузка (чѣмъ принимается во вниманіе динамическое дѣйствіе подвижного груза) и тогда получается слѣдующая таблица нагрузокъ на одинъ квадратный футъ горизонтальной площади для различныхъ глубинъ h:

Глубина h въ футахъ	Мертвый грузъ D въ фунтахъ на □ футъ	Подвижной грузъ L въ фунтахъ на □ футъ	Полный расчетный грузъ, равный $D + 2L$, на □ футъ
5	350	480	1310
6	410	400	1210
7	460	330	1120
8	500	260	1020
9	540	200	940
10	580	150	880
11	600	110	820
12	630	70	770
13	650	40	730
14	660	20	700
15	670	10	990
16	680	0	680
16,4 и болѣе	680	0	680

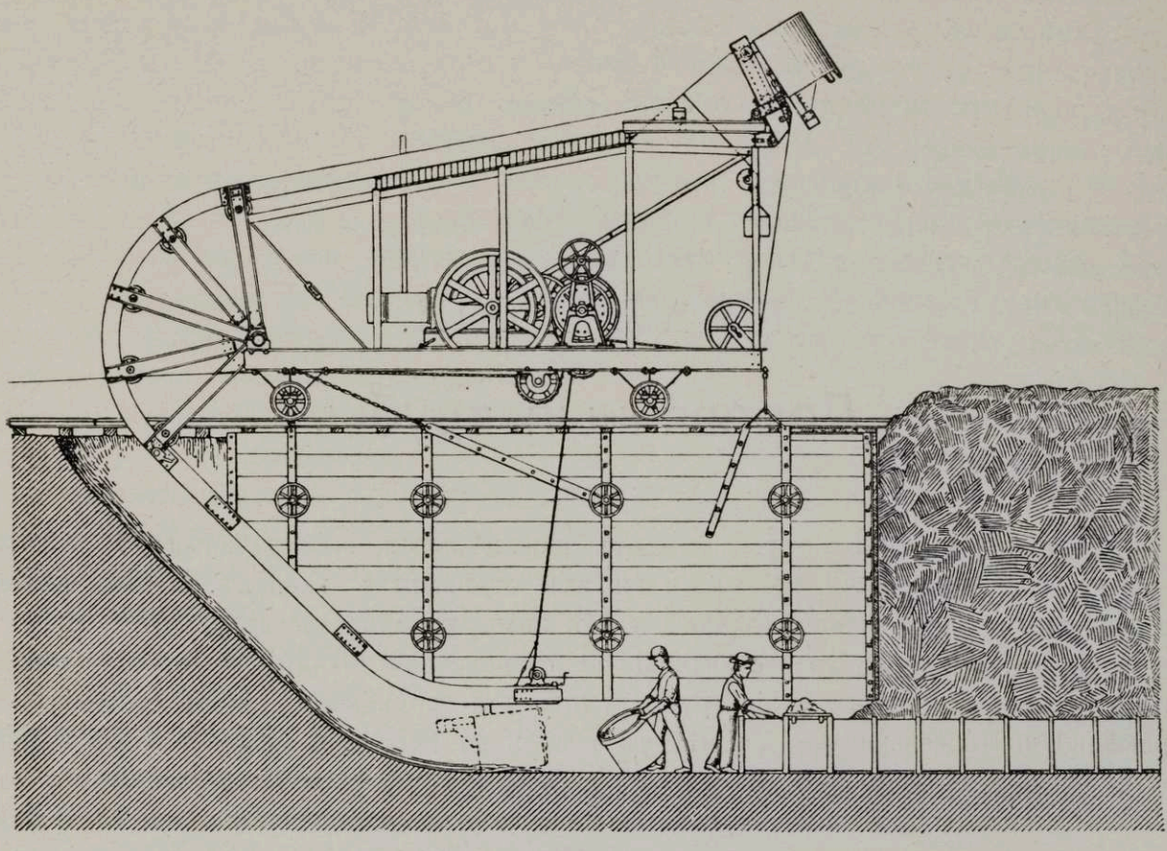
2). Въ настоящее время для канализаціонныхъ трубъ представляется еще одна опасность, растущая съ каждымъ днемъ, и хотя не поддающаяся расчету, но заслуживающая, тѣмъ не менѣе, большого вниманія. Именно, это—возможность попаданія въ канализаціонныя трубы бензина и газолина изъ автомобилей, распространеніе которыхъ идетъ теперь съ поразительной быстротой. Въ Америкѣ отъ этой причины уже неоднократно наблюдались взрывы трубъ и это обстоятельство слѣдуетъ имѣть въ виду.

3). Машины для рытья канавъ.

Въ Америкѣ для быстраго рытья канавъ для укладки водопроводныхъ и канализаціонныхъ трубъ употребляются различныя машины. Такія машины описаны, напримѣръ, въ слѣдующихъ журналахъ: „The Engineering Record“, 1905 г., December 30 (стр. 735) и тамъ же, въ приложеніяхъ, (Current News Supplement) за 30 Декабря, стр. 45. „Engineering News“, 1904 г. Dec. 1 и 1908 г., February 13 и 1903 г., August 6 (та же машина, что и въ Engineering Record на стр. 735).

Мы дадимъ здѣсь рисунокъ одной изъ такихъ машинъ, которая производитъ не только работу рытья канавы, но также производитъ и засыпку канавы послѣ укладки въ нее трубъ, такъ что работа идетъ непрерывно; подъ машиною помѣщаются рабочіе; спереди машина роетъ канаву, а сзади засыпаетъ уложенныя уже трубы. Эта машина представлена на чер. 224; она строится фирмою Libbe Engineering & Construction Co. Ltd. Toledo, Ohio, въ Америкѣ. Машина состоитъ изъ стальной рамы около 30 футовъ длиною, которая идетъ впередъ по рельсамъ; часть этой рамы спускается на требуемую глубину канавы въ землю. Вычерпываніе земли производится ковшемъ, который ходитъ по рамѣ; если машина должна немедленно же засыпать канаву послѣ укладки трубъ рабочими, которые помѣщаются подъ нею и защищены отъ обвала земли боковыми дощатыми стѣнками, идущими впередъ вмѣстѣ съ машиною, то ковшъ выкидываетъ въ задней части машины землю опять въ канаву; если же канава требуется открытая, то земля отводится особымъ желобомъ въ сторону, въ бокъ отъ канавы. Ма-

шина приводится въ дѣйствіе паровымъ или газолиновымъ двигателемъ мощностію въ 20 лош. силъ, и можетъ вынимать тогда около одного кубическаго ярда въ минуту;



Чер. 224.

при ней требуется одинъ машинистъ и два рабочихъ. Вѣсъ машины—около 10 тоннъ. Машина можетъ рыть канавы отъ одного до тридцати футовъ глубиною.

———*———

Трубы стекляныя, каменныя (сверленыя изъ естественнаго камня), асфальтовыя (свернутыя въ видѣ гильзъ изъ бумаги, пропитанной асфальтомъ) и т. п. встрѣчаются теперь очень рѣдко и потому говорить про нихъ здѣсь мы не будемъ.

ГЛАВА XIII.

Деревянныя трубы.

§ 104. Деревянныя трубы бываютъ или цѣльныя, высверленныя изъ цѣльной деревянной колоды, или же составныя изъ отдѣльныхъ клепокъ. Первыя имѣютъ мало значенія въ современной техникѣ и объ нихъ упоминаемъ лишь ради историческаго интереса. Гораздо большее значеніе въ современной техникѣ имѣютъ *составныя* круглыя деревянныя трубы. Такія трубы пользуются громаднымъ распространеніемъ въ Америкѣ но почти совершенно неизвѣстны у насъ въ Россіи, а между тѣмъ, благодаря сходству между Россіей и Америкой въ нѣкоторыхъ условіяхъ, примѣненіе и у насъ въ Россіи такихъ деревянныхъ трубъ было бы (и несомнѣнно будетъ при грядущемъ, рано или поздно, расцвѣтѣ нашихъ промышленныхъ силъ) весьма умѣстнымъ и выгоднымъ. Поэтому я счелъ нужнымъ остановиться на этихъ трубахъ подробнѣе, такъ такъ въ Русской Литературѣ, насколько мнѣ извѣстно, о нихъ почти ничего не говорится.

Идея устройства трубы изъ отдѣльныхъ досокъ, несомнѣнно, очень древняя, ибо додуматься до того, чтобы сколотить гвоздями или даже связать веревками и т. п. нѣсколько досокъ и образовать такимъ образомъ закрытый жолобъ, могущій проводить воду подъ незначительнымъ давленіемъ — очень не трудно. Конечно, такой жолобъ не можетъ выдержать большого давленія, которымъ его разорветъ на отдѣльныя доски. Поэтому, постепенно пришли къ мысли—дѣлать трубу круглою, изъ клепокъ, представляющихъ собою отрѣзки полаго цилиндра, ограниченные въ мѣстахъ стыка радіальными плоскостями, и стянутыхъ въ собранномъ видѣ *обручами*, охватывающими ихъ кругомъ. Такимъ образомъ, идея устройства современныхъ большихъ деревянныхъ трубъ состоитъ въ томъ, что **вся разрывающая сила** передается *исключительно* лишь **на одни обручи**, а деревянныя клепки служатъ только для того, чтобы ограничить жидкость, такъ сказать, геометрически, не сопротивляясь разрывающимъ силамъ, которыя передаются черезъ толщу клепокъ на обручи. Здѣсь, съ перваго раза, неопытный читатель можетъ, естественно, предложить вопросъ—„да зачѣмъ же тревожить дерево, если приходится, все равно, употребить въ дѣло такое большое количество желѣза въ видѣ обручей, что оно можетъ выдержать всю разрывающую силу? Купить то же количество желѣза въ формѣ листовъ и склепать изъ нихъ трубу! Она получитъ въ діаметральномъ сѣченіи ту же самую площадь, какъ и всѣ обручи—и будетъ желѣзная труба? Зачѣмъ же эта возня съ деревомъ?“

Но въ томъ то и дѣло, что вовсе не все равно, имѣть ли желѣзо въ видѣ *листовъ* или въ видѣ **полосъ** круглаго, прямоугольнаго или овальнаго сѣченія. Въ томъ то и состоитъ одно изъ главныхъ преимуществъ деревянныхъ трубъ, что онѣ, въ особенности при прокладкѣ линіи въ лѣсистой мѣстности, строятся изъ матеріала, который имѣется тутъ же на мѣстѣ; сами трубы собираются изъ клепокъ на мѣстѣ и везти въ лѣсную глушь или пустыри приходится только дешевое круглое желѣзо,

прутья *, что вовсе не трудно и при самыхъ примитивныхъ средствахъ сообщенія въ видѣ лошадей или муловъ, даже безъ телѣги. Но везти въ такія мѣста желѣзныя клепаныя трубы напр. метръ въ діаметрѣ — это совсѣмъ иная статья. Во-вторыхъ, листовое желѣзо и работа сверленія дыръ и клепки совсѣмъ не то, что круглые прутья, на которыхъ надо лишь грубо нарѣзать рѣзьбу. Клепать же трубы въ лѣсу или пустынѣ, на мѣстѣ — невозможно. Въ третьихъ, слѣдуетъ вспомнить, что всякая труба должна быть въ состояніи сопротивляться не только разрыву внутреннимъ давленіемъ, но также и сплющивающимъ силамъ, и какъ намъ извѣстно, толщина стѣнки желѣзной трубы, вслѣдствіе этой послѣдней необходимости, выходитъ нерѣдко гораздо больше, нежели толщина, полученная изъ расчета на разрывъ по формулѣ Маріотта. Такимъ образомъ, количество желѣза, которое пошло бы на клепаную или сварную трубу, было бы значительно больше, нежели то, которое идетъ на обручи, расчитываемые только на одинъ разрывъ внутреннимъ давленіемъ.



Чер. 225.

Такимъ образомъ и выходитъ, что деревянная труба гораздо легче изготовляется, а иногда оказывается и дешевле, чѣмъ желѣзная. Въ смыслѣ же долговѣчности она превосходитъ чуть не всѣ другія трубы (см. далѣе).

Всѣ детали устройства деревянныхъ трубъ совершенно ясно показаны въ *Атласѣ*.

Труба, какъ уже сказано, составляется изъ клепокъ. Въ большинствѣ случаевъ, табл. 96 и 97, клепки представляютъ отрѣзки полаго круглаго цилиндра, каковой онѣ и образуютъ въ собранномъ видѣ. Только на одномъ примѣрѣ, на фиг. 12—13 табл. 96, клепки очерчены внутри и снаружи плоскостями и въ собранномъ видѣ образуютъ, поэтому, призму съ многограннымъ основаніемъ. Но это рѣдкій примѣръ.

Въ обычныхъ конструкціяхъ трубъ клепки въ мѣстахъ стыка очерчиваются просто радіальными плоскостями, такъ что въ сложенномъ, а тѣмъ болѣе въ стянутомъ видѣ, каждыя двѣ сосѣднія клепки прикасаются по всей площади своихъ радіальныхъ поверхностей. У Американцевъ считается усовершенствованіемъ конструкція инженера Гауксъ, показанная на фиг. 5—10 табл. 96. Здѣсь боковыя грани клепокъ не плоскія, а имѣютъ слегка изогнутое очертаніе, на одной клепкѣ — выпуклое, а на прилегающей къ ней — вогнутое, такъ что двѣ клепки прижимаются одна къ другой не на цѣлой боковой грани, а лишь на узкой полоскѣ, образующейся отъ смятія сказаннаго языка и желобка. Такую конструкцію изобрѣтатель считаетъ лучше обыкновенной на основаніи слѣдующаго соображенія. При ней достаточно гораздо меньшей предварительной затяжки обручей для того, чтобы на узкой полоскѣ соприкосновенія вызвать уже большое напряженіе на смятіе и придать трубѣ герметичность въ первые моменты наполненія ея водою; когда же отъ напитыванія водою клепки разбухнутъ, то все это разбуханіе поглотится, такъ сказать, зазорами между клепками по обѣ стороны полоски прикосновенія и въ разбухшемъ видѣ клепки будутъ уже прикасаться по всей боковой грани, но напряженіе смятія постепенно будетъ убывать по мѣрѣ приближенія отъ средины толщины къ наружной и къ внутренней поверхности

* а при отсутствіи лѣса—и клепки, но онѣ тоже не тяжелы и легко перевозятся.

клепки. Въ суммѣ будетъ получено вполнѣ достаточное для обезпеченія герметичности нажатіе безъ излишняго обремененія обручей черезчуръ сильной затяжкой. Насколько вѣрны эти умозрительныя соображенія автора—мы рѣшить не беремся.

Что касается стыковъ клепокъ между собою по длинѣ, то не трудно, конечно, догадаться прежде всего, что такіе стыки дѣлаются не сразу для всѣхъ клепокъ по окружности въ одномъ и томъ же поперечномъ сѣченіи, а четныя, что ли, клепки стыкаются въ одномъ поперечномъ сѣченіи, а нечетныя—въ другомъ, на достаточномъ разстояніи * отъ перваго, какъ видно на чер. 225. Для достиженія въ мѣстѣ стыка двухъ клепокъ герметичности, въ нихъ дѣлается по хордѣ пропилъ пилою и въ оба пропила вставляется *замокъ* или *язычекъ*, сдѣланный изъ желѣзной цинкованой полоски, или изъ деревянной, и входящій поровну въ тотъ и другой пропилы. Самый пропилъ видѣнъ на фиг. 1 и 4 табл. 97 **, а вставленный въ обѣ клепки язычекъ видѣнъ на фиг. 17 табл. 96. Глубина пропила въ каждой изъ двухъ стыкающихся клепокъ дѣлается чуть чуть меньше, нежели половина длины язычка по продольному направленію, а толщина пропила дѣлается чуть меньше толщины язычка; это дѣлается для того, чтобы при забивкѣ язычка на мѣсто онъ достаточно туго входилъ бы до мѣста и врѣзывался бы нѣсколько въ матеріалъ клепокъ, обезпечивая герметичнсть. Для той же цѣли, ширина язычка по хордѣ дѣлается нѣсколько больше, нежели ширина пропила въ торцѣ клепки (это видно на фиг. 4 табл. 97), такъ что при сборкѣ трубы эти выступающіе изъ за клепки краешки врѣзываются въ двѣ сосѣднія клепки и обезпечиваютъ непроницаемость въ томъ мѣстѣ, гдѣ клепки соприкасаются по длинѣ, вблизи поперечнаго стыка. Иногда вмѣсто отдѣльнаго язычка, язычекъ дѣлается въ одно цѣлое съ клепкой, а на другой клепкѣ дѣлается пазъ, какъ на фиг. 10 табл. 96. Наконецъ, встрѣчается и соединеніе на конической приточкѣ, но при небольшомъ давленіи, въ канализаціонной трубѣ, фиг. 12—13 табл. 96.

Клепки изготовляются или прямо на мѣстѣ или же на любомъ лѣсопильномъ заводѣ при помощи спеціальной немудреной машинки, обрабатывающей ихъ поверхности въ нужную форму.

Толщина клепокъ имѣетъ весьма важное значеніе и опредѣляется на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Важнѣйшимъ условіемъ, которое непосредственно опредѣляетъ предѣлы возможной толщины клепки, является соображеніе о *долговѣчности* клепокъ. Какъ извѣстно, дерево, которое все время находится въ сухомъ состояніи, и дерево, которое все время находится въ сыромъ состояніи, можетъ въ обоихъ случаяхъ сохраняться тысячи лѣтъ. Но если дерево поочередно подвергается то сухости, то влажности, то оно портится весьма быстро. Поэтому, при выборѣ толщины клепки деревянной трубы является необходимымъ—придать клепкамъ такую толщину, *чтобы клепка по всей своей толщинѣ была бы напитана водою*, такъ чтобы труба и на наружной поверхности была бы влажной; этимъ устанавливается наибольшая возможная толщина клепки. Съ другой стороны, если клепка будетъ сдѣлана много тоньше (хотя, однако, будетъ удовлетворять условіямъ прочности на изгибъ давленіемъ жидкости) то, если труба не зарыта въ землю, съ поверхности ея можетъ испаряться замѣтное количество воды, причиняя потерю ***.

Этими соображеніями опредѣляются предѣлы наименьшей и наибольшей толщины клепки, и толщина должна быть выбрана внутри этихъ предѣловъ. Затѣмъ, сообразно этой толщинѣ, должно быть выбрано разстояніе между обручами, такъ чтобы клепка была бы прочна на изгибъ, какъ многоопорная балка, опирающаяся на то число

---

* не менѣе 24 дюймовъ.

** на послѣдней фигурѣ видѣнъ справа и самый язычекъ, вставленный въ пропилъ.

*** Нѣкоторыя данныя относительно величины утечки и испаренія имѣются въ журналѣ Engineering News, 1899 г., Jan. 19.

обручей, которое приходится на ея длину. Точный расчетъ здѣсь сложенъ и довольствуются практическими данными. Наконецъ, когда и разстояніе между обручами такимъ образомъ выяснено, то опредѣляютъ діаметръ обручей, какъ сказано далѣе.

Ширина клепокъ особеннаго значенія не играетъ и выбирается на основаніи данныхъ практики.

Наиболѣе обычные размѣры клепокъ, установившіеся въ Американской практикѣ, приведены на таблицѣ 97 *Атласа*.

Американскій инженеръ Henny для опредѣленія наибольшаго допустимаго разстоянія между обручами предлагаетъ слѣдующую формулу

$$t \leqq \frac{25{,}6\,\delta}{\sqrt[3]{p}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (133),$$

въ которой:

t есть разстояніе между двумя смежными обручами (шагъ), въ Англ. дюймахъ,
δ — толщина клепки, въ Англ. дюймахъ,
p — давленіе въ трубѣ, въ фунтахъ на □ дюймъ.

Формула выведена изъ расчета клепки, въ мѣстѣ стыка по длинѣ двухъ клепокъ, на прогибъ и на основу ея положена (произвольная) допустимая стрѣлка прогиба, равная $^1/_{1000}$ пролета.

Матеріаломъ для клепокъ въ Америкѣ обыкновенно выбираютъ Калифорнскую секвою (Redwood; *lat.* — Sequoia sempervirens), которая считается наилучшимъ матеріаломъ для этой цѣли, благодаря своей чистотѣ, долговѣчности и легкости, съ которой она поддается обработкѣ. Кромѣ того, употребляется также ель, сосна и пихта.

Перейдемъ теперь къ обручамъ (или кольцамъ, хомутамъ), стягивающимъ трубу.

Разсмотримъ прежде всего тѣ силы, которымъ подвергается обручъ, предполагая его сперва, для простоты, имѣющимъ видъ непрерывнаго сварного кольца, безъ соединительнаго башмака.

Условія, въ которыхъ работаетъ каждый обручъ, напоминаютъ условія, въ которыхъ работаютъ болты, свертывающіе два флянца. Именно, для достиженія герметичности составленной изъ клепокъ деревянной трубы обручи должны быть предварительно затянуты (а также могутъ быть подтягиваемы подъ давленіемъ, когда труба уже наполнена жидкостію) и когда въ собранный такимъ образомъ трубопроводъ будетъ пущена жидкость подъ давленіемъ, то обручи, совершенно подобно болтамъ, будутъ испытывать на себѣ дѣйствіе и давленія жидкости и остатка предварительной затяжки. Соображеніями, совершенно подобными тѣмъ, которыя были мною подробно развиты въ главѣ V, можно убѣдиться и здѣсь, что полная сила, дѣйствующая на каждый обручъ, и разрывающая его, будетъ состоять изъ полнаго давленія жидкости на діаметральное сѣченіе трубы (такъ какъ, оно, несомнѣнно, ничѣмъ инымъ, кромѣ обручей, воспринимаемо быть не можетъ) и изъ нѣкоторой части первоначальной полной силы затяжки. Опредѣлить теоретически — какая часть предварительной полной силы затяжки сохранится — и здѣсь совершенно невозможно; да и величина самой силы предварительной затяжки тоже является весьма гадательной; поэтому, при расчетѣ обручей Американскіе инженеры довольствуются эмпирическими данными, которыя мы далѣе вкратцѣ и приводимъ *.

Къ этимъ двумъ силамъ, дѣйствующимъ на обручъ, прибавляется еще и третья.

---

* Діаграммы для быстраго, приближеннаго расчета обручей (на одно только давленіе жидкости) имѣются въ журналѣ Engineering News, 1908 г., Sept. 3 и Sept. 24.

Именно, когда труба наполнится жидкостію, то дерево *разбухаетъ* и стремится разорвать обручи. Опредѣленіе величины этой силы, приходящейся на каждый обручъ, тоже теоретически сдѣлано быть не можетъ и опять приходится довольствоваться эмпирическими данными.

Въ дѣйствительности, обручи представляютъ изъ себя не сварныя кольца, а для удобства сборки сгибаются изъ желѣзнаго прямого прута и оба конца прута соединяются одинъ съ другимъ при помощи башмаковъ различной формы (наиболѣе употребительныя системы такихъ башмаковъ, чугунныхъ и желѣзныхъ, приведены на табл. 96 и 97 *Атласа*). Вообще говоря, присутствіе башмака можетъ прибавить къ силамъ, разрывающимъ обручъ, еще и сгибающій моментъ, но онъ бываетъ не великъ и расчетъ обруча ведутъ такъ, какъ будто бы онъ былъ цѣльное кольцо.

При сужденіи о необходимой силѣ предварительной затяжки обручей слѣдуетъ имѣть въ виду, что эта сила должна быть достаточно велика для того, чтобы, съ одной стороны, достигнута была герметичность трубы, а съ другой — чтобы труба была бы настолько крѣпко стянута обручами, что она представляла бы одно цѣлое полое тѣло, способное сопротивляться сплющивающимъ * и изгибающимъ силамъ.

Въ статьѣ инженера Adams (Engineering News, 1898 г., Oct. 27) приведены довольно подробныя указанія по этому вопросу, и на основаніи этихъ данныхъ имъ и составлена таблица нормальныхъ размѣровъ деревянныхъ трубъ и ихъ деталей, приведенная на табл. 97 *Атласа*. Относительно величины силъ, дѣйствующихъ на обручи, Adams приводитъ слѣдующія данныя.

Пусть полная сила, разрывающая одинъ обручъ по одному поперечному сѣченію, будетъ P, часть этой силы, обусловленная давленіемъ жидкости — P_p, оставшаяся въ обручѣ сила предварительной затяжки, послѣ того, какъ пущена жидкость, пусть будетъ P_o, и отъ разбуханія пусть прибавляется по обручу еще сила P_1. Тогда

$$P = P_p + P_o + P_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (134).$$

Это уравненіе предполагаетъ, что дерево можетъ еще пружинить и разбухать, и, по Адамсу, это можетъ быть только въ томъ случаѣ, если при предварительной затяжкѣ обручей дерево клепокъ не было подвергнуто напряженію, превосходящему предѣлъ упругости **. Въ обычной практикѣ имѣетъ мѣсто именно этотъ случай, поэтому уравненіе (134) и примѣняемъ для расчета обручей.

Если назовемъ черезъ:

p — давленіе жидкости въ трубѣ, на единицу площади,
t — шагъ обручей, т. е. разстояніе между центрами двухъ смежныхъ обручей,
δ — толщину клепки,
q — силу разбуханія, дѣйствующую въ то время, когда въ трубѣ уже установилось полное давленіе, приходящуюся на единицу площади діаметральнаго сѣченія клепки,
r — діаметръ трубы,

---

* Рѣдкій случай сплющиванія 48-дюймовой деревянной трубы вкратцѣ описанъ въ журналѣ Engineering News, 1907 г., Sept. 26. Причина не вполнѣ ясна.

** Слѣдуетъ указать, что соображенія Адамса (по крайней мѣрѣ въ томъ видѣ, какъ они, въ сокращеніи, изложены въ журналѣ Engineering News, 1898 г., Oct. 27) относительно сложенія названныхъ трехъ силъ и вліянія предварительной затяжки, *не отличаются особенною ясностію*, какъ это, впрочемъ, имѣетъ мѣсто и вездѣ, гдѣ говорится объ ослабленіи первоначальной затяжки. Поэтому здѣсь я и не вхожу въ большія подробности, довольствуясь указаніемъ на суть дѣла и на нормальные размѣры, приведенные на табл. 97. Полностію весьма обширный докладъ Адамса напечатанъ въ Proceedings of the American Society of Civil Engineers, но, къ сожалѣнію, мнѣ достать этой статьи не удалось, такъ какъ означеннаго журнала въ библіотекѣ Императорскаго Техническаго Училища не оказалось.

то, очевидно имѣемъ

$$P_p = trp\,; \qquad P_1 = t\delta q\,;$$

кромѣ того, Адамсъ (конечно, болѣе или менѣе произвольно) принимаетъ

$$P_0 = 1{,}5t\delta p\,,$$

и тогда

$$P = trp + t\delta q + 1{,}5t\delta p = trp\left(1 + \frac{\delta}{r}\cdot\frac{q}{p} + 1{,}5\frac{\delta}{r}\right). \quad \ldots\ldots \quad (135).$$

Величину q Адамсъ принимаетъ равной 0,07kg на □mm, или 100 Англ. фунтовъ на □ дюймъ.

Что касается расчета на смятіе клепокъ подъ обручами, то на этотъ счетъ данныя Адамса не совсѣмъ опредѣленны, такъ какъ онъ не даетъ величины дѣйствительной площади соприкосновенія обруча съ деревомъ (послѣ деформаціи), и потому здѣсь ихъ я приводить не стану. Онъ даетъ напряженіе не на квадратный дюймъ дѣйствительной поверхности соприкосновенія, а на линейный дюймъ длины обруча.

Относительно *конструкціи* обручей необходимо замѣтить слѣдующее. Обручи изготовляются изъ желѣза или мягкой стали, съ коэффиціентомъ крѣпости на разрывъ отъ 40,6 до 45,5kg/□mm. Предѣлъ упругости назначается обыкновенно около 60% отъ коэффиціента крѣпости, а удлиненіе—около 22—24%. Степень надежности обручей, при расчетѣ на разрывъ однимъ чистымъ давленіемъ жидкости, берется обыкновенно отъ 4 до 5, такъ что въ цѣломъ мѣстѣ обруча допускается напряженіе отъ 10—11,5 до 8—9kg/□mm (сообразно приведеннымъ выше коэффиціентамъ крѣпости). Въ рѣзьбѣ обручей берется та же надежность и для этого на концѣ, гдѣ будетъ нарѣзана рѣзьба, обручъ или высаживается или получаетъ приварную часть, такъ, чтобы внутренній діаметръ рѣзьбы былъ бы не меньше наружнаго діаметра, который имѣетъ обручъ по всей своей длинѣ.

Обручи перевозятся къ мѣсту назначенія прямыми, связанными въ видѣ пучковъ, и тамъ сгибаются въ кругъ и покрываются какой-нибудь краской или горячимъ асфальтомъ для защиты отъ ржавленія и разъѣданія. Поперечное сѣченіе обручей чаще всего бываетъ круглымъ, хотя иногда оно дѣлается овальнымъ и прямоугольнымъ. При выборѣ формы сѣченія обруча играетъ роль сопротивленіе дерева смятію подъ обручемъ; обручъ прямоугольнаго сѣченія прикасается къ клепкамъ по цѣлой поверхности, а обручъ круглаго или овальнаго сѣченія — только по одной линіи, теоретически; практически же — по нѣкоторой полоскѣ, на которой матеріалъ дерева сомнется, и ширина этой дѣйствительной полоски прикосновенія будетъ для круглаго сѣченія одно, а для овальнаго — другая. Этою то разницей, въ пользу овальнаго сѣченія, и объясняетъ инженеръ Adams употребленіе и выгоду обручей овальнаго сѣченія.

Обручъ замыкается посредствомъ б а ш м а к а; конструкціи башмаковъ, и, сообразно имъ, и конструкціи обручей бываютъ различны. Иногда оба конца обруча получаютъ винтовую нарѣзку (фиг. 5—10, 12—13 табл. 96 и фиг. 5—9 и 14—18 табл. 97); иногда на одномъ концѣ дѣлается головка, а на другомъ—рѣзьба (фиг. 14 табл. 96 и и фиг. 1—3 и 10—13 табл. 97); * иногда же одинъ конецъ обруча привариваютъ къ

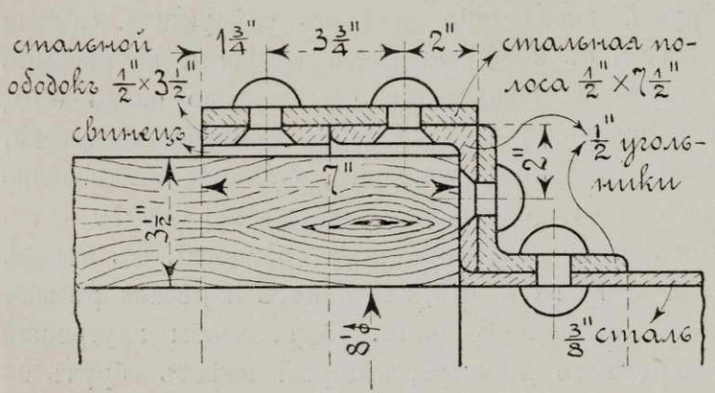
---

* Нѣкоторые конструкторы предпочитаютъ обручъ съ рѣзьбами на обоихъ концахъ обручу, имѣющему на одномъ концѣ головку, а на другомъ—рѣзьбу, руководствуясь слѣдующимъ соображеніемъ. Когда затягиваютъ обручъ съ одной головкой и одной гайкой, то, благодаря тренію обруча о дерево на всей окружности трубы, до головки доходитъ по обручу сила (аналогичная натяженію ведомой части ремня на шкивѣ) гораздо меньшая, нежели та, которая имѣется въ рѣзьбѣ обруча и поэтому мѣста трубы, прилегающія къ головкѣ, будутъ стянуты довольно слабо — иногда можно, поколотивши головку молоткомъ, подать ее затѣмъ впередъ на цѣлый дюймъ. Если же обручъ имѣетъ рѣзьбу на обоихъ концахъ, и затягивается, такъ сказать, съ двухъ сторонъ, то приходится при этомъ преодолѣвать треніе лишь на п о л о в и н ѣ окружности трубы, а не на цѣлой; поэтому, наиболѣе слабо затянутое мѣсто будетъ здѣсь по срединѣ между двумя гайками, но оно будетъ затянуто значительно сильнѣе, нежели обручъ у головки при первой конструкціи.

желѣзному башмаку, какъ на чер. 233. При трубахъ большого діаметра составляютъ иногда обручъ изъ двухъ частей, какъ на фиг. 15—25 табл. 96 и на фиг. 1 табл. 97. Рѣзьба на концѣ обруча обыкновенно выдавливается въ холодномъ состояніи, иногда же къ обручу приваривается нарѣзанная оконечность.

Башмаки бываютъ или чугунные литые, или желѣзные штампованные. Конструкція ихъ достаточно пояснена въ *Атласѣ* *. Для защиты отъ ржавчины и разъѣданія башмаки асфальтируются, подобно самимъ обручамъ. Гайки и бляшки точно также должны быть асфальтированы.

Порядокъ сборки деревянной трубы вкратцѣ слѣдующій: матеріалы привозятся на мѣсто, роется (если нужно) канава; затѣмъ начинаютъ собирать клепки такъ, чтобы образовался цилиндръ, причемъ нижнія клепки выступаютъ впередъ ранѣе верхнихъ; поперечные стыки чередуются, какъ сказано ранѣе. Затѣмъ ставятъ на мѣсто обручи и стягиваютъ ихъ. Когда эта партія рабочихъ пройдетъ далѣе, ея мѣсто занимаютъ подтягивальщики, которые окончательно затягиваютъ обручи, поколачивая ихъ здоровыми деревянными молотками и затягивая накрѣпко гайки. Эта операція требуетъ умѣнія и осторожности. Такъ, напр., предписываютъ извѣстную наибольшую длину ручки ключа и т. п.



Чер. 226.

Одна партія рабочихъ можетъ собрать въ день отъ 75 до 175 футъ длины трубы, смотря по обстоятельствамъ. При постройкѣ трубы г. Lynchburg, Va. (30 дюймовъ діаметромъ) партія рабочихъ, состоящая изъ 12 человѣкъ сборщиковъ и слѣдующихъ за ними еще 6 человѣкъ подтягивальщиковъ, прокладывала въ день 150 футъ длины трубы.

Наивысшій предѣлъ давленія, до котораго можетъ быть устраиваема деревянная труба, опредѣляется возможностію помѣщенія обручей и башмаковъ, и въ практикѣ доходятъ до давленій въ 125 фунтовъ на □ дюймъ (см. стр. 351). Но обычнымъ практически удобнымъ предѣломъ давленія считается давленіе около 85 фунтовъ на □ дюймъ, или напоръ воды около 200 футъ, если клепки сдѣланы изъ секвои или Дугласской ели (Duglas fir).

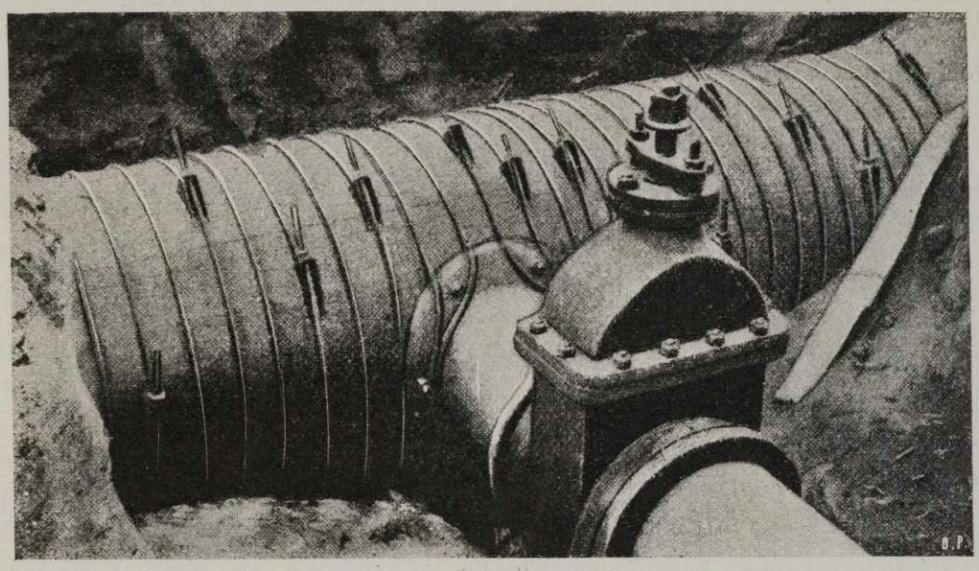
Деревянныя трубы могутъ быть соединяемы съ трубами изъ другого матеріала; на фиг. 25 табл. 96 и на чер. 226 показано соединеніе деревянной трубы съ желѣзною; на фиг. 11—такое же соединеніе, но подъ прямымъ угломъ; на чер. 234 соединеніе деревянной и стальной трубъ помощію раструба.

---

* Относительно башмака, изображеннаго на фиг. 5—8 табл. 96, слѣдуетъ сказать, что въ немъ среднее ребро нѣсколько выше двухъ наружныхъ, настолько, что когда обручи окончательно затянуты, то почти вся нагрузка передается на среднее ребро, а крайнія только мѣшаютъ башмаку поворачиваться подъ вліяніемъ момента, получающагося отъ того, что оба конца стержня не лежатъ въ одной плоскости. А такъ какъ радіусъ закругленія нижней части средняго ребра равенъ радіусу желѣзнаго обруча, и ребро это простирается съ каждой стороны за точку касанія стержня къ трубѣ, то можно считать, что давленіе отъ башмака на трубу передается совершенно такъ же, какъ будто бы вмѣсто башмака былъ бы цѣльный сварной обручъ. Такимъ образомъ, башмакъ не вноситъ въ нагрузку на клепки значительнаго сгибающаго момента, почему въ *Атласѣ* и сказано, что такой башмакъ способствуетъ поддержанію круглой формы трубы.

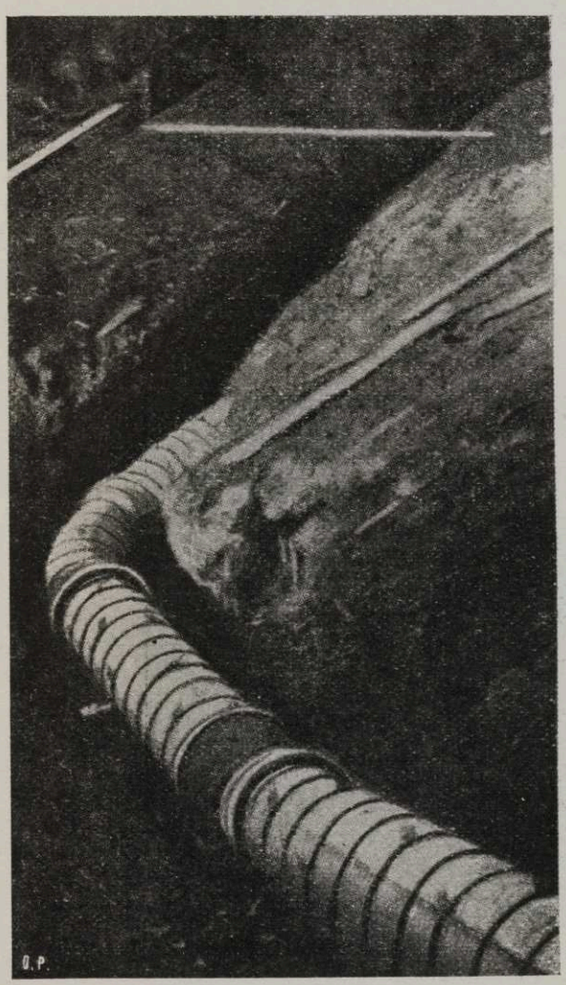
** Понятіе о составѣ партіи даетъ слѣдующій примѣръ. При сборкѣ трубъ діаметромъ въ 42 дюйма водопровода Atlantic City, N. J., партія состояла изъ: одного мастера, двухъ рабочихъ завѣдывавшихъ матеріалами, двухъ сколачивавшихъ клепки, двухъ затягивавшихъ обручи, одного, который ударами молота извнутри выправлялъ трубу, придавая ей вполнѣ круглую форму, двухъ послѣдующихъ подтягивальщиковъ, окончательно затягивавшихъ обручи, одного (мальчикъ) красившаго обручи и двухъ трамбовщиковъ.

На фиг. 19 табл. 97 представлено соединеніе деревянной трубы съ задвижкою, а на чер. 227 показано подобное же соединеніе въ перспективѣ и здѣсь видно, какъ

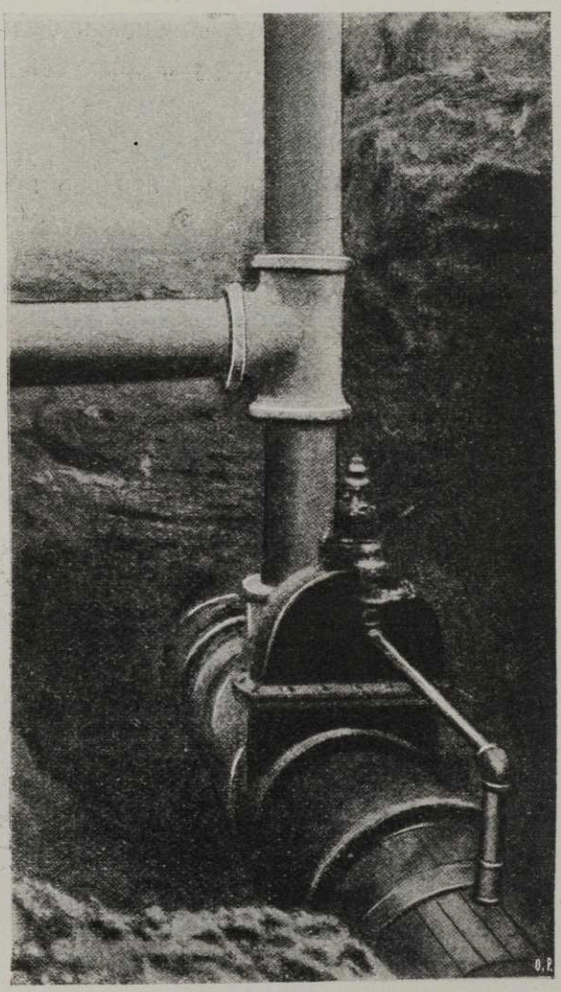


Чер. 227.

обручи обходятъ поперечную трубу (діаметръ главной трубы—30 дюймовъ, а боковой—12 дюймовъ). На чер. 228 представлены соединенія деревянной 18-дюймовой трубы съ



Чер. 228.



Чер. 229.

чугунными колѣнами для образованія крутыхъ заворотовъ, а на чер. 229 показано соединеніе деревянной 18-дюймовой трубы съ водонапорной колонной, задвижкой и трубочкой для впуска воздуха.

Деревянныя трубы съ удобствомъ могутъ быть устраиваемы для самыхъ разнообразныхъ цѣлей: для водопроводовъ, для канализаціи, для орошенія, для подвода воды къ турбинамъ и пр. Благодаря тому, что труба можетъ работать и зарытою въ землю, и обнаженною, лежащей на поверхности, и уложенною подъ водою, и можетъ безъ спеціальныхъ фасонныхъ частей быть проводима по неровной и гористой мѣстности съ довольно малыми радіусами закругленій *, достигаемыми простымъ изгибомъ клепокъ— деревянныя трубы пользуются большимъ распространеніемъ.

Достоинствами деревянныхъ трубъ, которыя даютъ имъ часто преимущества передъ желѣзными и чугунными, считаются:

1). *Легкость* трубъ и *удобство перевозки* ихъ въ разобранномъ видѣ.

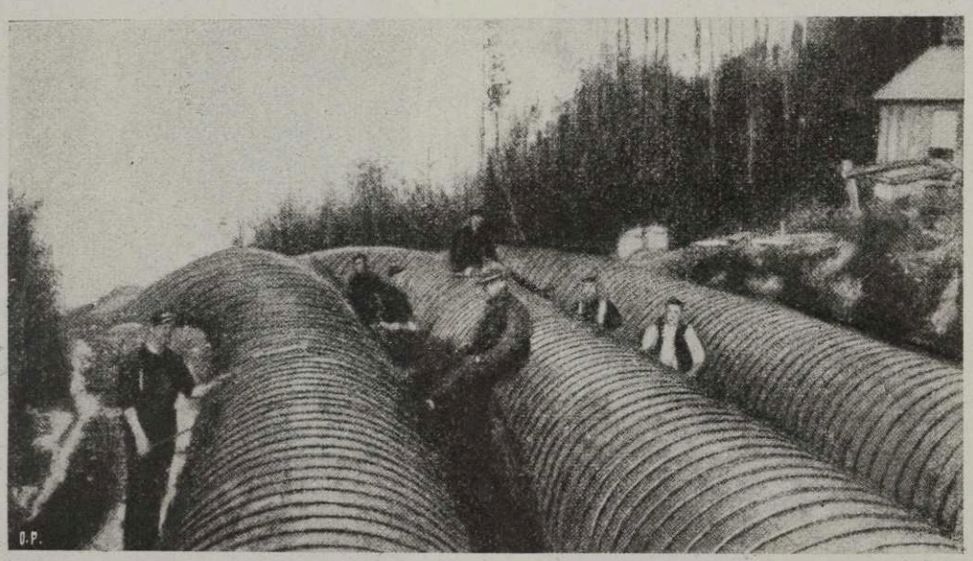
2). *Герметичность.* Не смотря на огромное число стыковъ, продольныхъ и поперечныхъ, по заявленію инж. Адамса, деревянная труба даетъ наименьшее количество утечки воды.

3). *Меньшее сопротивленіе движенію жидкости.* Благодаря тому, что внутренность трубы является совершенно гладкою, и что на ней не осѣдаютъ такіе крупные налеты, какъ на чугунныхъ трубахъ, треніе жидкости о стѣнки деревянной трубы гораздо меньше, нежели о стѣнки другихъ трубъ (коэффиціенты формулы Гангиллье и Куттера для деревянныхъ трубъ имѣются въ указанныхъ ниже каталогахъ Американскихъ фирмъ).

4). *Продольная крѣпость.* Благодаря отсутствію особыхъ поперечныхъ стыковъ, ослабляющихъ цѣлое поперечное сѣченіе металлической трубы, деревянная труба является весьма жесткой и прочной въ смыслѣ сопротивленія значительнымъ и продольнымъ и поперечнымъ силамъ, и иногда этимъ однимъ соображеніемъ обусловливалось рѣшеніе — построить деревянную трубу предпочтительно передъ другими **.

---

* безъ большихъ затрудненій можно трубы діаметромъ въ 30 дюймовъ укладывать съ радіусомъ закругленія въ 250 футъ, а, въ крайнихъ случаяхъ, дѣлаютъ и гораздо меньшіе радіусы (см. стр. 353). Видъ трехъ параллельныхъ линій 54-дюймовыхъ трубъ со сложными закругленіями представленъ на чер. 230.



Чер. 230.

** Указанная здѣсь слабость и малая упругость поперечныхъ стыковъ обыкновенныхъ чугунныхъ трубъ весьма непріятно даетъ себя знать, напримѣръ, въ томъ случаѣ, если трубопроводъ уложенъ вдоль желѣзнодорожнаго пути и въ близкомъ отъ него разстояніи; отъ сотрясеній поѣздовъ соединенія трубъ разстраиваются и ихъ приходится иногда чинить ежедневно (см. такой случай въ The Engineering Record, 1900 г., Nov. 24).

5). *Долговѣчность.* Вопросъ о долговѣчности деревянной трубы является вопросомъ очень важнымъ; въ практикѣ извѣстны примѣры деревянныхъ трубъ, которыя работаютъ уже десятки лѣтъ *, но, конечно, для достиженія достаточной долговѣчности трубы необходимо позаботиться заранѣе о долговѣчности каждой изъ ея отдѣльныхъ частей. Долговѣчность дерева можетъ быть, какъ уже сказано, достигнута тѣмъ, что необходимо имѣть клепки всегда пропитанными водою, придавая имъ должную толщину и стараясь всегда имѣть трубу наполненною жидкостью **. Желательно, чтобы труба была зарыта въ землю на глубину не меньше 2 футъ. Болѣе опасною въ этомъ смыслѣ частію являются башмаки и обручи; для сохраненія ихъ необходимо и тѣ и другіе покрывать слоемъ цинка, краски или асфальта; всякое поврежденіе обруча и башмака будетъ такъ же опасно, какъ и ржавленіе сплошной желѣзной трубы.

Опасенія относительно истиранія внутренности трубы водою, содержащею песокъ и пр., не оправдались. Такого изнашиванія въ замѣтной степени не наблюдалось.

Высказывались также опасенія относительно проѣданія стѣнокъ трубъ муравьями, шмелями, шершнями и пр.; но, не смотря на признанную дерзость этихъ животныхъ (шершни проѣдаютъ даже свинцовыя стѣнки камеръ для производства сѣрной кислоты и свинцовыя трубы) такихъ непріятныхъ нападеній этихъ насѣкомыхъ на деревянныя трубы не наблюдалось. Повидимому, пропитанное водою дерево является непригоднымъ для жизни этихъ животныхъ.

6). *Способность сопротивляться ударамъ.* Прекраснымъ доказательствомъ того, что деревянная труба способна выдерживать безъ особеннаго вреда для нея очень сильные удары, можетъ служить такое происшествіе. На одной гидравлической станціи въ Америкѣ, гдѣ вода подводилась къ колесу Пелтона по деревянной трубѣ, вслѣдствіе недосмотра появились течи въ трубѣ. Для того, чтобы помочь бѣдѣ, было рѣшено набросать *постепенно* въ воду массу мелко изрѣзаннаго каната, съ тою цѣлію, чтобы волокна затѣмъ понемногу проникли въ щели и затянули бы ихъ. Такъ и было сдѣлано, но съ однимъ лишь исключеніемъ. По глупости (чьей—статья не упоминаетъ) цѣлый комъ пеньки былъ брошенъ въ трубу *сразу*, одной массой! Діаметръ трубы постепенно сходитъ съ величины 26 дюймовъ до $1^1/_2$ дюйма (діаметръ сопла колеса Пелтона). Напоръ воды у выхода изъ сопла—180 футъ. Натурально, что когда брошенный въ трубу комъ пеньки дошелъ до узкаго мѣста, то онъ моментально закупорилъ сѣченіе трубы и въ результатѣ получился такой ударъ, что все машинное помѣщеніе чуть не стало вверхъ дномъ. Но на трубѣ это отразилось только тѣмъ, что изъ одной клепки выломалась часть длиною около одного фута, въ томъ мѣстѣ, гдѣ напоръ составляетъ около 50 футъ. Не трудно представить себѣ, что было бы, если бъ труба была чугунная!

Вообще, какъ при ударахъ, такъ и при плавномъ черезмѣрномъ повышеніи давленія вся деревянная труба является какъ бы предохранительнымъ клапаномъ, такъ какъ при этомъ обручи вытянутся болѣе нормальной величины, клепки нѣсколько разойдутся и труба начнетъ течь гораздо раньше, нежели разрушаться; поэтому, деревянная труба, вообще

---

* Напр., труба водопровода въ Toronto, Канада, работающая съ 1851 года.

** Единственный случай сильнаго разрушенія трубы послѣ десяти лѣтъ работы описанъ инженеромъ Адамсъ въ журналѣ „Engineering News“, 1906 г., October 11, стр. 378 и 381.

говоря, лопнуть не можетъ, такъ какъ ранѣе она начнетъ выпускать жидкость въ щели между клепками.

§ 105. Свѣденія о нѣкоторыхъ исполненныхъ деревянныхъ трубахъ.

1). Труба водопровода города Butte, Mont., между резервуаромъ и городскою сѣтью; діаметръ — 24 дюйма; длина — около 47300 футъ; матеріалъ — секвоя; разстояніе между обручами — отъ 2 до 6 дюймовъ, смотря по давленію; наибольшій напоръ воды въ трубѣ — 150 футъ. Башмакъ этой трубы показанъ на фиг. 14 табл. 96 (подробности—Engineering News, 1893 г., Jan. 3 и Febr. 16).

2). Подводная выпускная труба канализаціи въ гавани Новаго Лондона, Conn.; поперечное сѣченіе трубы показано на фиг. 12, а соединеніе двухъ трубъ на конической приточкѣ—на фиг. 14 *Атласа*, табл. 96; длина клепокъ не менѣе 20 футъ; на этой длинѣ приходится три обруча изъ круглой, дважды цинкованой стали, $^3/_4$ дюйма діаметромъ; глубина трубы подъ водою — 18 футъ; для того, чтобы труба не всплывала, она нагружена двумя рельсами (подробности — Engineering News, 1893 г., Jan. 19).

3). Арочный мостъ, состоящій изъ двухъ деревянныхъ трубъ, на линіи деревянныхъ трубъ въ 40 верстъ длиною, въ Денверѣ, Colo.; діаметръ трубъ — 12 дюймовъ; пролетъ моста — 103,5 фута; подъемъ (стрѣлка дуги) — 9,85 фута. Матеріалъ—Тексасская желтая сосна (Texas yellow pine). Толщина клепокъ въ отдѣлкѣ — $1^1/_2$ дюйма, діаметръ стальныхъ обручей—$^3/_8$ дюйма, шагъ ихъ—$2^1/_2$ дюйма. (Рисунокъ и подробности—Engineering News, 1893 г., Aug. 31).

4). Труба канализаціи въ Los Angeles, Cal. Діаметръ—38 дюймовъ, длина—$5^1/_4$ верстъ (подробности — Engineering News, 1895 г., Feb. 28). Чертежъ башмака и нѣкоторые размѣры приведены въ *Атласѣ*, табл. 97, фиг. 14—18. Матеріалъ—секвоя.

5). Въ *Атласѣ* на фиг. 1 — 4 табл. 97 представлена труба водохранилища Honey Lake Walley, Cal.; матеріалъ трубы — секвоя. Клепки имѣютъ длину отъ 12 до 24 футъ; обручи — изъ круглой стали, $^3/_4$ дюйма діаметромъ, коэффиціентъ крѣпости ихъ на разрывъ — 60000 фунтовъ на □ дюймъ, удлиненіе — 20%; обручи должны быть дважды покрыты въ горячемъ состояніи лучшей металлической краской и хорошо высушены; шагъ обручей — 5 дюймовъ; язычки должны быть изъ гальванизированнаго листового желѣза, толщина — N10 Birmingham wire gage; ширина ихъ — $1^1/_2$ дюйма, а длина на $^1/_4$ дюйма больше, нежели ширина клепки по линіи пропила; труба пробуется гидростатическимъ давленіемъ отъ 35 до 50 фунтовъ на □ дюймъ.

6). Труба водопровода города Ogden, Utah; діаметръ — 24 дюйма; длина — около 21000 футъ; матеріалъ—секвоя; обручи—изъ круглаго $^1/_2$-дюймоваго желѣза; наибольшій напоръ—72 фута (подробности—Engineering News, 1896 г., May 21).

7). Трубы водопровода города Hollister, Cal.; на этомъ водопроводѣ имѣется 3140 футъ 14-дюймовой трубы, 11380 футъ 12-дюймовой трубы и 14010 футъ 10-дюймовой трубы (подробности см. Engineering News, 1897 г., May 6). Матеріалъ—секвоя.

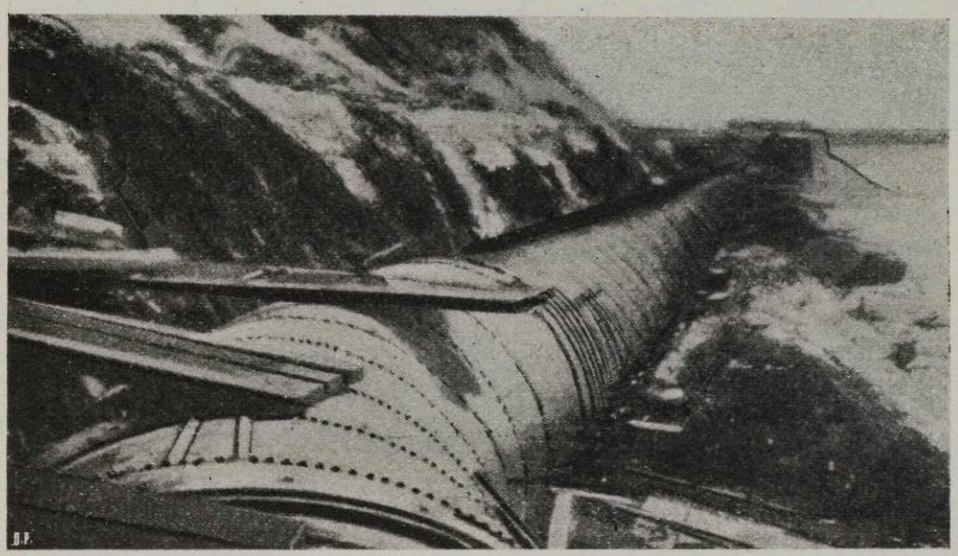
8). Выпускныя трубы канализаціи на Ніагарскомъ водопадѣ; двѣ трубы имѣютъ діаметръ въ 2 фута, а третья—въ 3 фута; матеріалъ—сосна; разстояніе между обручами—два фута; въ нижней половинѣ—одинъ обручъ въ 1 дюймъ діаметромъ, въ верхней—два въ $^3/_4$ дюйма. Труба идетъ съ наклономъ въ 38° къ горизонту и потребовала солидныхъ фундаментовъ. Длина клепокъ—отъ 14 до 16 футъ; толщина—

4 дюйма; клепки окрашены кругомъ двумя слоями карболинеума; стыки дѣлаются на свинцовыхъ бѣлилахъ; язычки—стальные. Длина каждой трубы—около 250 футъ (подробности—Engineering News, 1897 г., May 13).

9). Трубы для подвода воды къ турбинамъ въ Огденѣ, Утахъ, изображены въ *Атласѣ*, фиг. 15—25 табл. 96. Наибольшій гидростатическій напоръ въ трубѣ—117 футъ. Бо́льшія подробности см. въ Engineering News, 1897 г., July 8, или въ The Engineer, 1898 г., March 11.

10). Деревянная труба 10 дюймовъ діаметромъ, упрощенной, Англійской конструкціи, съ обручами безъ башмаковъ, описана въ журналѣ Engineering, 1900 г., July 20.

11). Труба 9 футъ діаметромъ для гидравлической силовой станціи въ Флористонѣ, Калифорнія. Матеріалъ — секвоя. Стальное клепаное колѣно, вставленное въ эту трубу, показано на чер. 231; по концамъ оно имѣетъ раструбы, куда вставляются



Чер. 231.

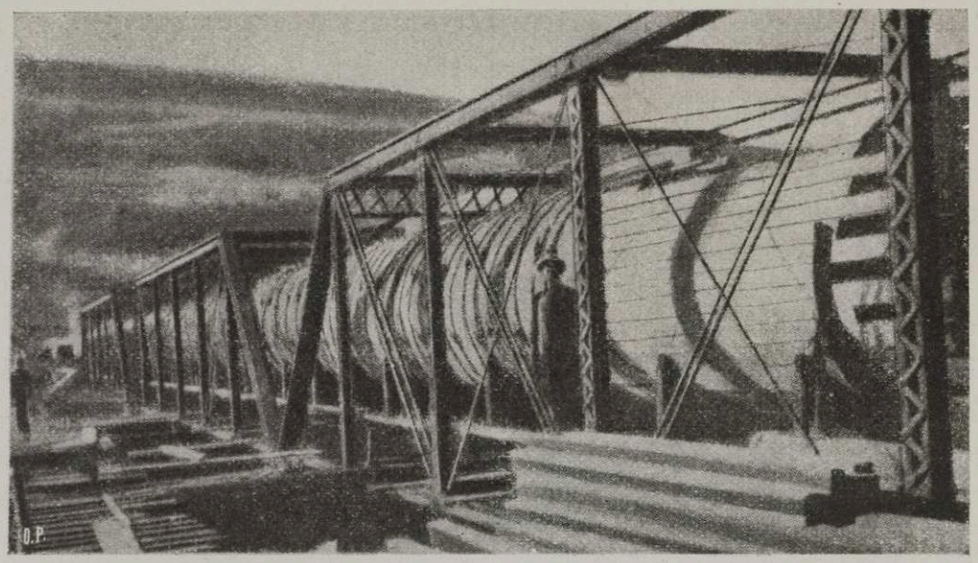
концы деревянныхъ трубъ, усиленные желѣзными кольцами; раструбъ забивается пенькою и заливается свинцомъ обычнымъ образомъ (подробности — Engineering News, 1900 г., Oct. 4). Толщина клепокъ—$3^3/_4$ дюйма. Діаметръ обручей—$^3/_4$ дюйма. Наименьшій шагъ — $4^3/_4$ дюйма, подъ наибольшимъ напоромъ въ 50 футъ.

12). Трубы канализаціи въ Нью-Іоркѣ; одна изъ трубъ представлена на фиг. 20—21, табл. 97 *Атласа* (подробности—Engineering, 1901 г., Oct. 11). Матеріалъ—дубъ.

13). Деревянныя трубы въ 36 и 42 дюйма діаметромъ силовой и оросительной системы, устроенной Компаніей The Southern California Mountain Water Co. Полная длина линіи трубъ—35 верстъ, наибольшій напоръ—390 футъ. Устроенная къ 1904 году часть линіи около 15 верстъ длиною, работаетъ при наибольшемъ напорѣ въ 293 фута! Вслѣдствіе такого необыкновенно высокаго для деревянной трубы напора разстояніе между обручами пришлось уменьшить до *одного дюйма* и изгибать обручи такъ, чтобы одинъ обручъ обходилъ башмакъ слѣдующаго. Фотографіи этой части трубы и нѣкоторыя подробности см. въ Engineering News, 1904 г., April 7. Матеріалъ—секвоя.

14). Труба водопровода города Atlantic City, N. J.; діаметръ — 42 дюйма, длина — 9807 футъ (подробности — Engineering News, 1904 г., Sept. 22).

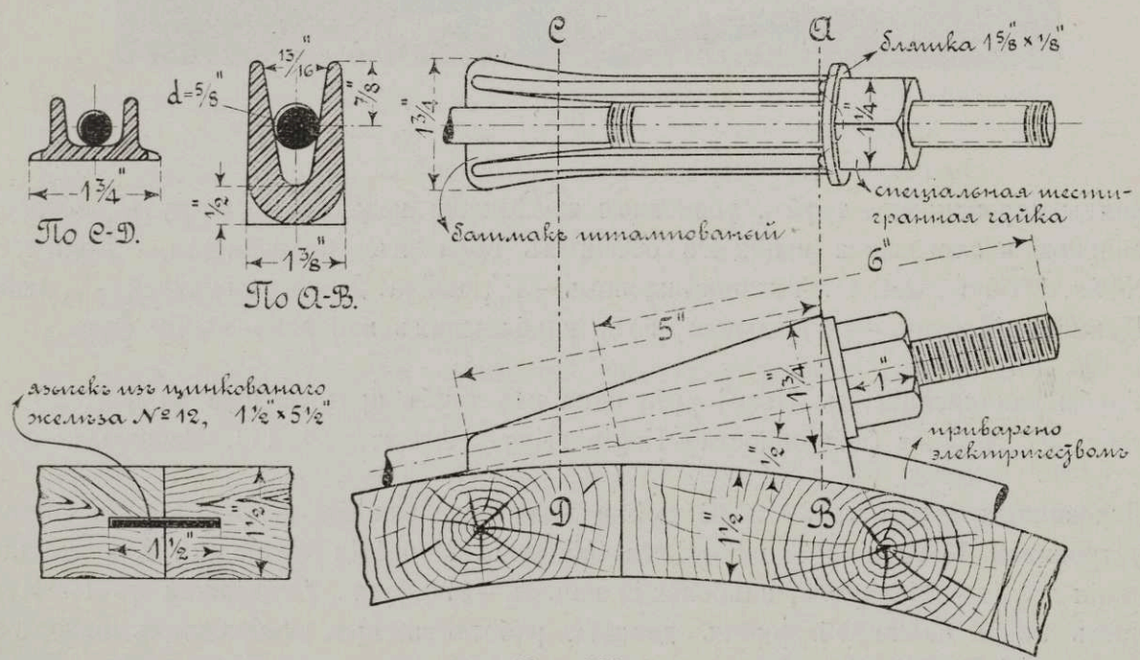
15). Труба для подвода воды къ турбинамъ на гидравлической силовой станціи Общества Utah Sugar Company. Діаметръ—8 футъ, длина—935 футъ; матеріалъ—секвоя. (Подробности — Engineering News, 1905 г., April 13). Соединеніе этой трубы съ стальнымъ колѣномъ показано было на чер. 226. Труба переходитъ черезъ желѣз-



Чер. 232.

ный мостъ, съ тремя пролетами въ 75 футъ каждый. Видъ этого моста представленъ на чер. 232.

16). Труба водопровода въ Raton, New Mexico. Діаметръ — 12 дюймовъ, длина — 35000 футъ. Полный напоръ линіи—485 футъ. Для того, чтобы не имѣть въ трубопроводѣ давленія свыше 130 фунтовъ на □ дюймъ, устроено нѣсколько камеръ

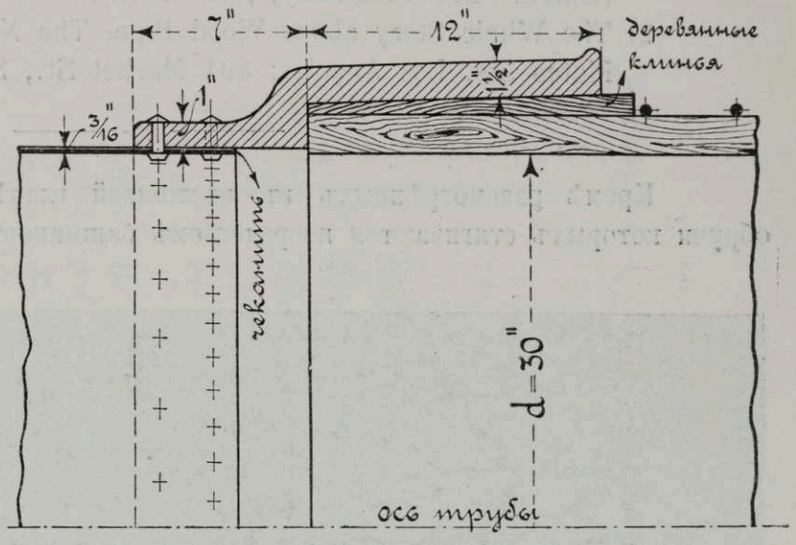


Чер. 233.

для пониженія давленія. Чертежъ и описаніе камеры и подробности—The Engineering Record, 1905 г., July 15.

17). Труба освѣтительной и силовой гидро-электрической станціи города Brigham City, Utah. Діаметръ — $30^1/_4$ дюймовъ, длина — 5750 футъ. Матеріалъ—Орегонская ель (Oregon fir). Детали трубы изображены на чер. 233, соединеніе съ желѣзной тру-

бой—на чер. 234, а общій видъ трубы, на которомъ видно расположеніе башмаковъ—на чер. 235. Толщина клепокъ—$1^1/_2$ дюйма, ширина—5 дюймовъ; діаметръ обручей—$^1/_2$ дюйма, шагъ ихъ — отъ 12 дюймовъ (при напорѣ менѣе 25 футъ) и до $3^{11}/_{16}$ дюйма при наибольшемъ напорѣ въ 106 футъ. Обручи покрыты асфальтомъ. Каждый обручъ однимъ концомъ приваренъ электрически къ желѣзному штампованому башмаку. На другомъ концѣ обруча приварены (электрически же) нарѣзанныя части, $^5/_8$ дюйма діаметромъ. Подробности—Engineering News, 1905 г., Sept. 7.

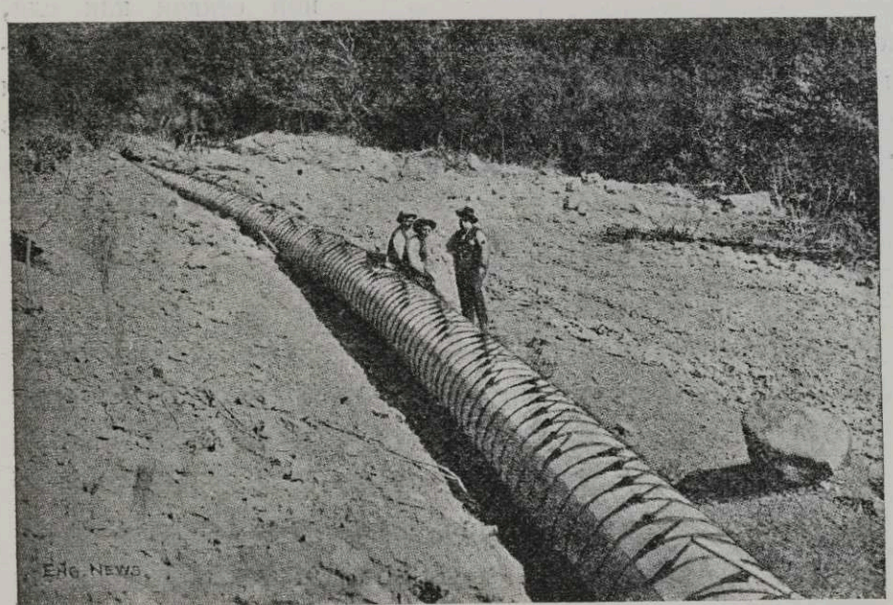


Чер. 234.

18). Заборная труба водопровода г. Quincy, Ill.; діаметръ—30 дюймовъ, длина — 1500 футъ; послѣ 18 лѣтъ работы найдена совершенно здоровой. (Подробности—Engineering News, 1905 г., Nov. 2). Матеріалъ—желтая сосна (yellow pine). Упрощенное соединеніе обручей.

19). Труба водопровода г. Lynchburg, Va. Діаметръ—30 дюймовъ; длина—90000 футъ. Матеріалъ — секвоя. Наибольшее давленіе въ трубѣ — 83 фунта на □ дюймъ. Діаметръ обручей—$^1/_2$ дюйма. При окончательной затяжкѣ обручей длина рукоятки ключа не должна быть болѣе 10 дюймовъ (интересныя подробности—The Engineering Record, 1906 г., Sept. 1).

20). Труба гидро-электрической установки Общества Pueblo & Suburban Traction & Lighting Company, Colorado. Діаметръ — 30 дюймовъ, длина—21000 футъ. Наибольшій напоръ—215 футъ. Труба идетъ по очень неровной мѣстности и принуждена мѣстами дѣлать закругленія съ радіусами менѣе 100 футъ, а въ одномъ мѣстѣ сложная кривая имѣетъ радіусъ въ 35 футъ (см. чер. 236). Подробности и виды трубы и мѣстности—журналъ Cassier's Magazine, 1906 г., October.



Чер. 235.

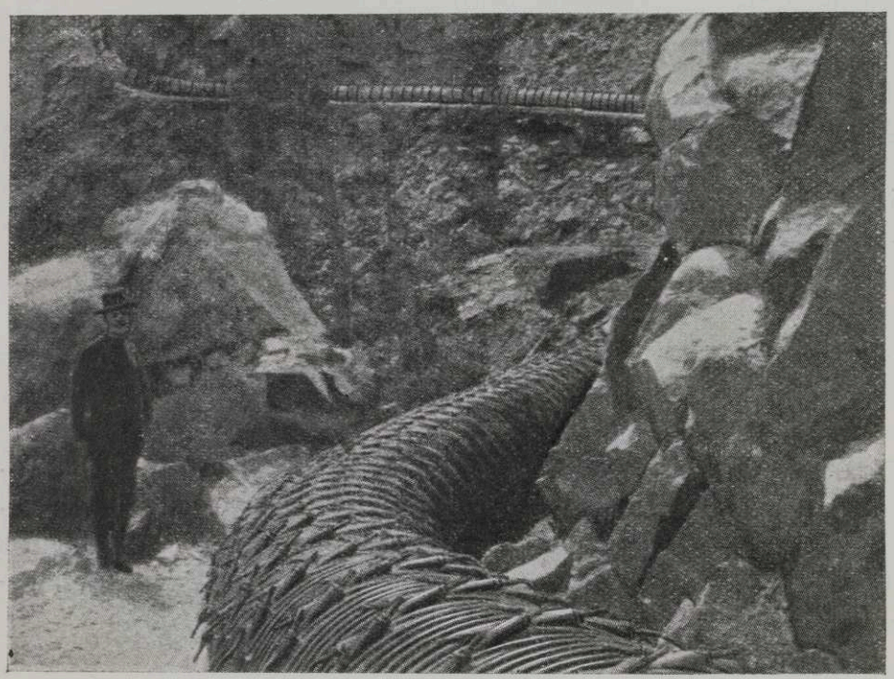
21). Описаніе и фотографію трубы въ $8^1/_2$ футъ діаметромъ и въ 3,5 версты длиною см. въ журналѣ „The Practical Engineer", 1909 г., Aug. 20. Наибольшій напоръ—168 футъ; діаметръ обручей—отъ $^3/_8$ до 1 дюйма. Труба ведетъ воду къ турбинамъ.

Весьма обстоятельныя свѣденія о деревянныхъ трубахъ (съ таблицами для расчета и т. п.) имѣются въ каталогахъ двухъ Американскихъ фирмъ (любезно присланныхъ по моей просьбѣ мнѣ изъ Америки), именно:

1) Wooden Stave Pipe, built by Excelsior Wooden Pipe Co., San Francisco, Cal. (Offices—220 Broadway, New York).
2) The Whole Story about Wood Pipe. The National Wood Pipe Co.; Sixth and Mateo Sts, Los Angeles; 301 Market St., San Francisco, California, U. S. A.

———— * ————

Кромѣ разсмотрѣнныхъ въ настоящей главѣ большихъ деревянныхъ трубъ, обручи которыхъ стягиваются посредствомъ башмаковъ, въ Америкѣ въ большомъ ходу упрощенныя деревянныя трубы, которыя тоже состоятъ изъ деревянныхъ клепокъ, только клепки эти стянуты не отдѣльными обручами, а труба просто обвита по спирали длинной желѣзной проволокой. Такія трубы изготовляются для небольшихъ діаметровъ (отъ 3 до 18 дюймовъ) съ длинами отъ 10 до 20 футъ; онѣ могутъ работать при напорахъ до 500 футъ воды.



Чер. 236.

Клепки такихъ трубъ изготовляются изъ хорошо высушенной секвои или ели, и затѣмъ обматываются желѣзной, хорошо оцинкованной и покрытою асфальтомъ проволокой; обмотка производится на спеціальной машинѣ, которая сдавливаетъ клепки и даетъ въ то же время проволокѣ должное натяженіе. Подробности см. въ проспектѣ названной сейчасъ Американской фирмы „National Wood Pipe Co“.

ГЛАВА XIV.

Гибкія трубы (рукава).

§ 106. Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ, по условіямъ работы, разстояніе между оконечностями трубы должно измѣнять и свою величину и свое положеніе въ пространствѣ и гдѣ, вслѣдствіе разнообразія и сложности такихъ измѣненій, нельзя обойтись съ небольшимъ числомъ удобоподвижныхъ соединеній, вставленныхъ въ трубопроводъ, дѣлаютъ гибкой всю, такъ сказать, трубу, или же составляютъ трубу изъ такого большого числа удобоперемѣщаемыхъ элементовъ, что они дѣлаются мало замѣтными, и тогда труба называется *гибкою* трубою или *рукавомъ*. Такія гибкія трубы можно раздѣлить на два класса, именно, на рукава, сдѣланные изъ *органическихъ* веществъ (тканые изъ растительныхъ волоконъ, кожаные и т. п.) и на рукава металлическіе, состоящіе исключительно (или преимущественно) изъ металлическихъ членниковъ или изъ непрерывной металлической полосы, завитой обыкновенно по винтовой спирали; для герметичности между металлическими элементами или между кромками спирали вводятся прокладки изъ мягкихъ матеріаловъ (резины, азбеста и пр.).

§ 107. I). Рукава органическіе.

Такіе рукава дѣлаются чаще всего изъ *кожи*, *резины* или изъ *пеньки* (тканые). Кожаные рукава въ настоящее время мало употребительны; они дороги и недолговѣчны, такъ какъ кожа легко сохнетъ и ломается. Въ настоящее время кожаныя трубы можно встрѣтить преимущественно въ спеціальныхъ случаяхъ, напр., для устройства удобоподвижныхъ соединеній трубъ землечерпалокъ и землесосовъ, гдѣ онѣ употребляются иногда взамѣнъ описанныхъ ранѣе удобоподвижныхъ металлическихъ соединеній. Два примѣра такихъ кожаныхъ трубъ большого діаметра приведены въ *Атласѣ*, табл. 111, фиг. 15—17. Для усиленія трубы и поддержанія ея круговой формы въ трубу вставляютъ проволочную спираль (фиг. 17) или окружаютъ ее обручами снаружи, какъ на фиг. 15—16 (непосредственное приклепываніе кожи къ желѣзу, видимое на фиг. 15—16, не можетъ быть названо удачной конструкціей). Такія трубы обыкновенно защищаютъ снаружи еще и сѣткой, какъ на фиг. 17.

Резиновые рукава приготовляются изъ резины (каучука). * Весьма часто такіе рукава *усиливаютъ*, для того чтобы они лучше сопротивлялись и разрывающей

* Слѣдуетъ различать *резину* (каучукъ) и *гуттаперчу*. Эти два вещества добываются изъ совершенно различныхъ породъ деревьевъ и обладаютъ различными свойствами. Въ подробности входить здѣсь не мѣсто, ихъ можно найти въ спеціальныхъ сочиненіяхъ. Замѣчу только, что при пользованіи литературными источниками и детальными чертежами не всегда было возможно принять во вниманіе эту разницу; въ большинствѣ фигуръ *Атласа* встрѣчается терминъ „резина“, но возможно, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ слѣдовало бы читать „гуттаперча“.

силѣ внутренняго давленія и сплющивающимъ наружнымъ силамъ. Усиленіе производится: или при помощи проволочной спирали (которая иногда помѣщается внутри рукава, а иногда снаружи), или же при помощи нѣсколькихъ тканыхъ прослоекъ, прокладываемыхъ въ нѣсколько слоевъ по толщинѣ стѣнки, такъ что такой рукавъ можетъ быть, съ одинаковымъ правомъ, названъ и тканымъ рукавомъ съ резиновыми прокладками и резиновымъ съ тканными прослойками. * Чѣмъ больше число прослоекъ изъ ткани, тѣмъ рукавъ будетъ крѣпче, но зато тѣмъ болѣе онъ теряетъ въ гибкости. Иногда рукава оплетаютъ проволокой. **

Резиновые рукава употребляются для проведенія холодной и горячей воды, для сжатаго воздуха и даже для пара. *** Они боятся масла.

Тканые рукава приготовляются обыкновенно изъ плотной пеньковой ткани и бываютъ обыкновенные и *препарированные*. Первые суть рукава состоящіе просто изъ ткани, ничѣмъ не обработанной. Они неудобны тѣмъ, что пока не намокнутъ, то пропускаютъ жидкость и поэтому легко обмерзаютъ и т. д. Препарированные рукава обрабатываются снаружи дубильною кислотою, а внутри, для непроницаемости, покрываются слоемъ резины. Понятно, что такіе рукава дороже обыкновенныхъ.

Тканые рукава примѣняются главнымъ образомъ для доставки холодной воды, въ особенности при пожарныхъ насосахъ, поливкахъ и т. п.

Въ зависимости отъ давленія и прочихъ условій наибольшій діаметръ и длина продажныхъ рукавовъ бываютъ различны. Вообще говоря, резиновые рукава готовятся съ діаметрами отъ 10 до 300 миллиметровъ и съ длиною до 40 метровъ. Наибольшее давленіе можетъ, при спеціальныхъ сортахъ рукавовъ, дойти до очень высокой цифры. Такъ, напр., заводъ Chr. Berghöfer & Co., Kassel, готовитъ рукава, выдерживающіе пробное давленіе въ *400 атмосферъ*! Обычные же соотношенія между діаметромъ и наибольшимъ допустимымъ рабочимъ давленіемъ у рукавовъ высокаго давленія этого завода таковы:

внутренній діаметръ въ mm	8	10	12	13	15	16	19	20	22	25
рабочее давленіе въ atm	200	175	170	165	160	152	143	130	125	122

внутренній діаметръ въ mm	28	30	32	35	38	40	42	45	48	50
рабочее давленіе въ atm	112	105	100	95	92	85	79	75	70	66

внутренній діаметръ въ mm	52	57	60	65	70	75	80	85	90	95	100
рабочее давленіе въ atm	62	58	55	52	50	47	45	42	40	37	35

---

* Нѣкоторыя подробности относительно изготовленія резиновыхъ рукавовъ можно найти въ упомянутомъ на стр. 317 сочиненіи Кёнига.

** Подробности о рукавахъ высокаго давленія и изображенія многихъ сортовъ такихъ рукавовъ можно найти, напримѣръ, въ очень интересномъ каталогѣ Нѣмецкой фирмы Chr. Berghöfer & Co., въ Касселѣ.

*** При пользованіи резиновыми рукавами для проведенія пара, необходимо соблюдать извѣстную осторожность, какъ этому учитъ, напримѣръ, случай, описанный въ журналѣ „The Practical Engineer“, 1900 г., Jann. 5. Въ этомъ примѣрѣ новый резиновый рукавъ, сдѣланный изъ дерматина (смѣсь резины, гуттаперчи и другихъ растительныхъ соковъ) и имѣвшій внутренній діаметръ въ 1 дюймъ и толщину стѣнокъ въ $^5/_{16}$ дюйма, и усиленный пятью слоями холста, былъ вырванъ изъ бронзовой детали, съ которой онъ былъ скрѣпленъ для дальнѣйшаго затѣмъ соединенія съ металлической

Обыкновенные пеньковые и льняные рукава тотъ же заводъ готовитъ съ длинами до 300 метровъ.

Соединенія органическихъ рукавовъ обыкновенно производятся такимъ образомъ, что концы двухъ соединяемыхъ рукавовъ надѣваютъ на особыя короткія трубки, а эти послѣднія соединяютъ уже между собою, причемъ соединеніе это можетъ быть выполнено по какому угодно способу, т. е. посредствомъ флянцевъ или муфтъ на рѣзьбѣ или же какимъ-либо инымъ спеціальнымъ образомъ. Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ не требуется частой и быстрой разборки и гдѣ имѣемъ дѣло съ рукавами большого діаметра или для большого давленія, примѣняются соединенія на флянцахъ. Но такъ какъ, въ большинствѣ случаевъ, рукава приходится, по условіямъ ихъ назначенія и работы, *быстро* присоединять и отнимать, то и соединенія ихъ, въ такихъ случаяхъ, приходится дѣлать такими, чтобы они съ удобствомъ, легко и быстро, могли бы быть разбираемы и собираемы иногда въ теченіи одной-двухъ секундъ. Примѣры этого мы имѣемъ: въ пожарныхъ рукавахъ, въ рукавахъ подвижного желѣзнодорожнаго состава, проводящихъ вдоль поѣзда воду, паръ, сжатый или разрѣженный воздухъ и пр.

Приведемъ нѣсколько примѣровъ соединеній рукавовъ.

Соединеніе рукава съ тѣми короткими металлическими частями, которыя вводятся въ линію рукавовъ для устройства соединеній, дѣлается такимъ образомъ, что рукавъ попросту съ силою натягивается на цилиндрическую или слегка коническую часть металлической трубки, которая, для задержанія его, обыкновенно снабжается круговыми поясками; для бо́льшей надежности рукавъ затѣмъ обматывается проволокою или стягивается кольцами (примѣры показаны въ *Атласѣ*: табл. 113, фиг. 12—13; табл. 114, фиг. 8 и 12—20; табл. 117, фиг. 11—14); иногда, въ серьезныхъ случаяхъ, рукавъ зажимается при помощи стяжной муфты, какъ на табл. 118, фиг. 11.

Соединенія между собою вставныхъ металлическихъ частей на флянцахъ не представляютъ ничего особеннаго и дѣлаются на общихъ основаніяхъ, изложенныхъ для соединеній флянцами. Гораздо болѣе интереса представляютъ спеціальныя, быстроразбирающіяся сосединенія такихъ частей. Такія соединенія чаще всего производятся или помощію стяжныхъ муфтъ на рѣзьбѣ, или же помощію подобныхъ же муфтъ, зацѣпляющихся другъ за друга особыми выступами, подо́бно тому, какъ это дѣлается при соединеніяхъ желѣзныхъ и мѣдныхъ трубъ, или же помощію особыхъ *головокъ*, зацѣпляющихся одна за другую. Примѣръ соединенія стяжными муфтами имѣется въ *Атласѣ* на табл. 114, фиг. 8; такое соединеніе употребляется при пожарныхъ рукавахъ. Что́ касается соединеній при помощи особыхъ муфтъ и головокъ, то они встрѣчаются обыкновенно на желѣзныхъ дорогахъ для сцѣпки рукавовъ, проводящихъ паръ, воду, воздухъ и нефть. Объ этихъ соединеніяхъ приходится сказать нѣсколько подробнѣе.

При той оживленности движенія, которая въ настоящее время имѣетъ мѣсто на желѣзныхъ дорогахъ, соединеніе при помощи навертной гайки является уже несовершеннымъ, какъ требующее много времени для своей сборки и разборки; кромѣ того, оставшаяся свободной гайка можетъ, при движеніи поѣзда, постоянно болтаться и разбивать рѣзьбу. Поэтому уже болѣе 20 лѣтъ тому назадъ стали конструировать соединенія, которыя могли бы быть сцѣплены и расцѣплены однимъ взмахомъ или движеніемъ руки, и которыя не имѣли бы частей, остающихся вольными послѣ расцѣпки и могущихъ болтаться. Такихъ конструкцій было предложено и испробовано довольно много. Большинство изъ нихъ получило свое начало въ Америкѣ, откуда и вообще пошли воз-

---

трубой. Вслѣдствіе сильныхъ вибрацій рукава (служившаго для подведенія пара къ камнесверлильной машинѣ) и вслѣдствіе высокаго давленія пара (100 фунтовъ на □ дюймъ), совершенно новый рукавъ, *черезъ два мѣсяца послѣ начала работы*, настолько уже оказался разрушеннымъ, что весь дерматинъ на внутренней поверхности рукава, на протяженіи нѣсколькихъ футъ возлѣ мѣста соединенія съ названной выше трубой, ведущею къ сверлу, оказался исчезнувшимъ, а холщевыя прослойки уже оказались порванными. Инженеръ-наблюдатель находитъ, что давленія свыше 85 фунтовъ никоимъ образомъ допускать не слѣдовало для такого рукава.

душные тормаза, принятые теперь во всемъ цивилизованномъ мірѣ. Конструкція сцѣпки, вообще, зависитъ отъ того, что̀ будетъ проходить по рукаву—холодный ли воздухъ или вода, или же горячій паръ, но, въ общемъ, сущность устройства остается одна и та же. Изъ болѣе старыхъ конструкцій соединеній для парового отопленія вагоновъ упомянемъ конструкціи Съюалля (см., напр., журналъ Engineering, 1892 г., March 4, или Engineering News, 1891 г., Nov. 21), Гольда (см., напр., журналъ The Railroad Gazette, 1896 г., Nov. 13, Supplement), Джиббса (Engineering News, 1891, Dec. 5), Мартина. Всѣ эти соединенія обладаютъ тѣмъ свойствомъ, что они могутъ расцѣпляться автоматически; для этого достаточно только потянуть вагоны одинъ отъ другого или же, напр., при сцѣпкѣ Съюалля, вмѣсто этого просто поднять рукой, ногой, или палкою сцѣпку въ срединѣ и дать легкое боковое движеніе. Для возможности автоматическаго расцѣпленія зацѣпки должны быть извѣстнымъ образомъ очерчены, а самыя головки такъ оформлены, чтобы при приближеніи соединенныхъ рукавовъ къ горизонтальному положенію сила натяженія рукава имѣла относительно сцѣпленныхъ зацѣпокъ такое направленіе, которое вызывало бы расхожденіе этихъ послѣднихъ. Двѣ Французскихъ конструкціи, не обладающія свойствомъ саморасцѣпленія, показаны въ *Атласѣ* на табл. 113, фиг. 12—13 и на табл. 117, фиг. 11—13. Наконецъ, на табл. 114, фиг. 12—20 представлено соединеніе рукавовъ воздушныхъ тормазовъ при помощи головокъ всемірно-извѣстной фирмы *Вестингаузъ*, которое (въ чистомъ видѣ или въ видѣ многочисленныхъ подражаній) употребляется теперь во всемъ свѣтѣ. Сущность всѣхъ такихъ устройствъ состоитъ въ томъ, что сцѣпляемыя головки оформливаются такимъ образомъ, что рабочій, приблизивъ ихъ другъ къ другу и уперевъ извѣстнымъ образомъ одна въ другую (чему иногда способствуютъ нарочно отлитые выступы или залитые штифты), затѣмъ однимъ короткимъ движеніемъ руки поворачиваетъ головки одна относительно другой такъ, что вставленныя въ нихъ резиновыя кольца (или пружины и т. п.) сжимаются и прижимаются одно къ другому, пока, наконецъ, головки не займутъ такого положенія, при которомъ саморасцѣпленіе ихъ, при сцѣпленномъ поѣздѣ, становится невозможнымъ, несмотря ни на какія сотрясенія поѣзда. Разумѣется, для этого зацѣпляющіяся поверхности головокъ должны быть оформлены извѣстнымъ образомъ, причемъ, какъ уже сказано, въ нѣкоторыхъ конструкціяхъ очертаніе зацѣпокъ и форма головокъ дѣлаются такими, что возможно саморасцѣпленіе ихъ при удаленіи вагоновъ другъ отъ друга, когда оба сцѣпленные рукава вытягиваются въ прямую линію.

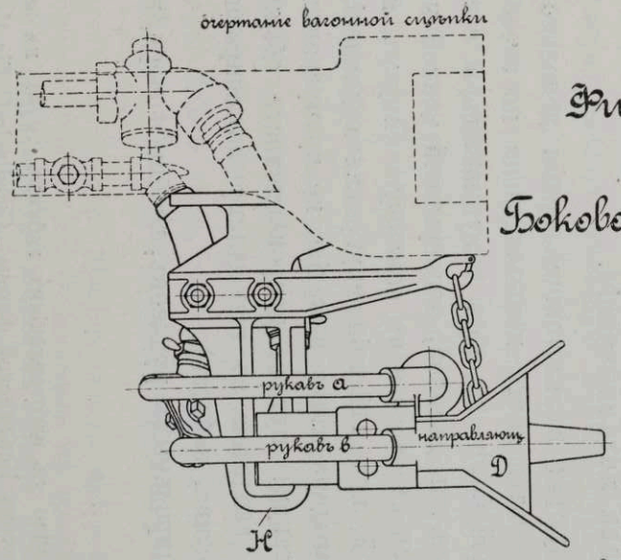
Головки всѣхъ упомянутыхъ сейчасъ сцѣпокъ изготовляются обыкновенно изъ ковкаго чугуна.

Однимъ изъ интереснѣйшихъ устройствъ въ дѣлѣ соединенія рукавовъ является *автоматическая* сцѣпка рукавовъ. Въ послѣднее десятилѣтіе автоматическая сцѣпка вагоновъ, благодаря доставляемымъ ею удобствамъ (быстротѣ сцѣпки, безопасности для рабочаго персонала), получила громадное развитіе, сперва въ Америкѣ, а затѣмъ въ Европѣ и даже у насъ въ Россіи. * Но, несмотря на устройство автоматической сцѣпки тяговыхъ аппаратовъ, всѣ рукава приходилось, все таки, сцѣплять руками сцѣпщика, принужденнаго лазить между вагонами, и число несчастныхъ случаевъ съ рабочими все таки было значительно. Тогда явилась мысль—параллельно съ автоматической сцѣпкой тяговыхъ приборовъ производить автоматически же и соединеніе всѣхъ рукавовъ, идущихъ между вагонами (для отопленія, тормаженія и пр.). Такія сцѣпки въ настоящее время устроены и работаютъ. Опишемъ сущность одного изъ такихъ устройствъ, конструированнаго фирмою The Automatic Air & Steam Couplers Co. и работающаго на многихъ желѣзныхъ дорогахъ Америки.

Для большей простоты устройства, всѣ рукава, идущіе вдоль поѣзда, обыкновенно сцѣпляются при помощи этой автоматической сцѣпки разомъ, и для этой цѣли концы всѣхъ рукавовъ вагона оканчиваются въ одной головкѣ, подвѣшенной къ стержню автоматической сцѣпки тягового прибора. На чер. 237 представлены: на фиг. I и II—

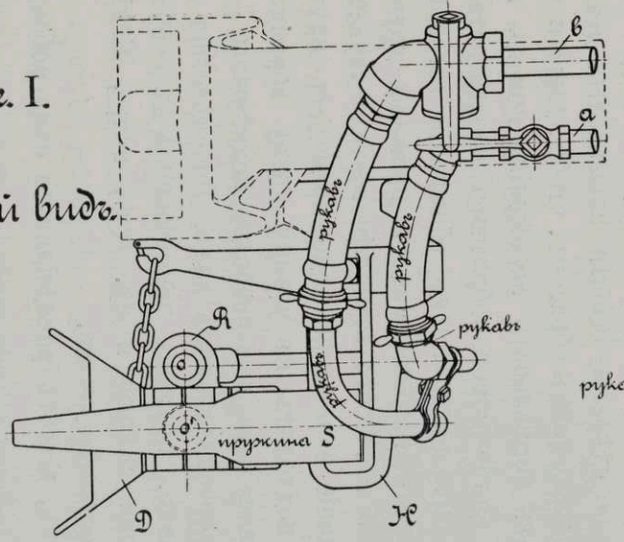
---

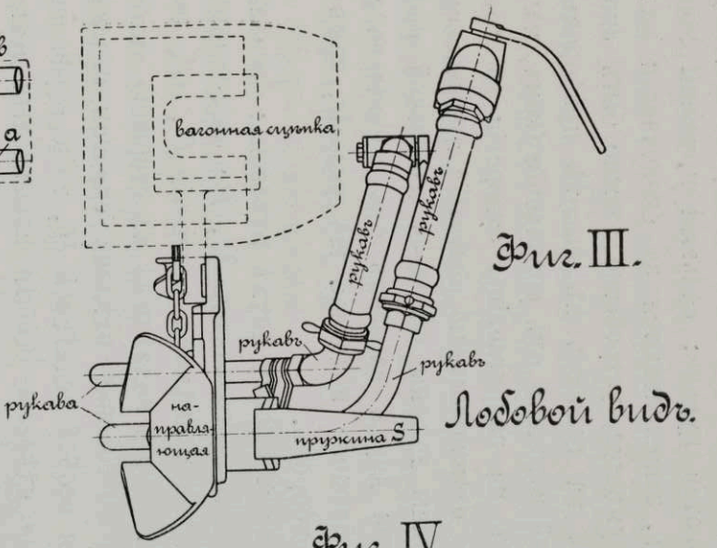
* На Московско-Казанской желѣзной дорогѣ.



Фиг. I.

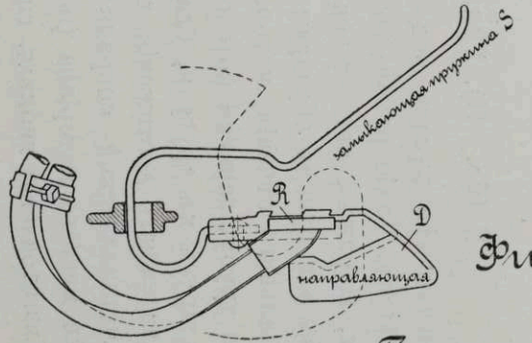
Боковой видъ.





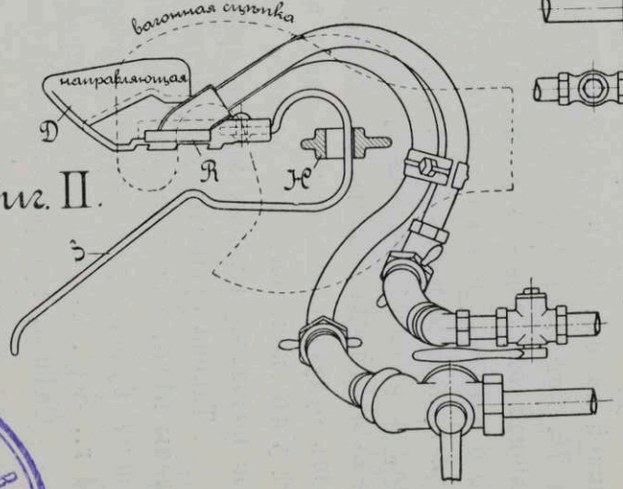
Фиг. III.

Лобовой видъ.

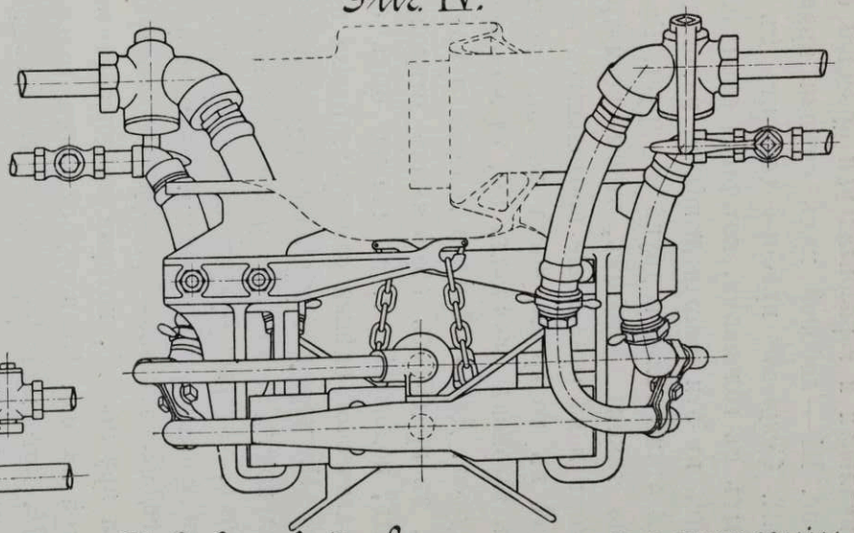


Фиг. II.

План.



Фиг. IV.



Боковой видъ въ сцѣпленномъ состояніи.

Чер. 237.

Библиотека Технического института Московского Высшего Технического Училища — Механико-Машиностроительный факультет

вертикальная и горизонтальная проекціи сцѣпокъ двухъ вагоновъ, готовыхъ сблизиться; на фиг. III — лобовой видъ сцѣпки праваго вагона, а на фиг. IV — уже сцѣпленные вагоны. *Сущность* прибора состоитъ въ устройствѣ особыхъ направляющихъ, соединенныхъ съ головками, которыми оканчиваются рукава; сильныя пружины постепенно входятъ въ эти направляющія и, наконецъ, защелкиваются за оконечности ихъ, прижимая этимъ головки другъ къ другу. Разумѣется, устройство должно быть сконструировано такимъ образомъ, чтобы, несмотря на разность въ высотѣ приборовъ двухъ вагоновъ и на отклоненіе продольныхъ осей вагоновъ отъ совпаденія (какъ, напр., при сцѣпкѣ въ то время, когда вагоны стоятъ на закругленіи), отверстія въ головкахъ двухъ вагоновъ *совпадали бы, въ моментъ окончательнаго нажатія пружинами, другъ съ другомъ*. Для этой цѣли головки и пружины должны обладать извѣстной *подвижностію*, въ предѣлахъ возможныхъ отклоненій двухъ вагоновъ отъ нормальнаго, такъ сказать, положенія, т. е. должно быть соблюдено подобное же условіе, какъ и для автоматической сцѣпки самихъ тяговыхъ приборовъ.

На чер. 237 мы видимъ одновременную сцѣпку двухъ рукавовъ: сигнальнаго a и воздушнаго тормаза b; рукава оканчиваются въ головкахъ R, R; на поверхностяхъ головокъ, которыя будутъ прижаты при сцѣпкѣ, имѣются отверстія O, O', окруженныя резиновыми прокладками. Головка на цѣпочкѣ подвѣшена къ стержню автоматической сцѣпки тягового прибора. Въ каждую же головку вдѣлана сильная плоская изогнутая пружина S, которая поддерживается особой подвѣской H, тоже скрѣпленной со сцѣпкой вагона. Въ передней части головки сдѣланы особыя крыльчатыя направляющія D, которыхъ форма и размѣры выбраны такимъ образомъ, чтобы, даже и при наибольшихъ отклоненіяхъ двухъ вагоновъ отъ нормальнаго положенія, конецъ пружины одного вагона все таки попадалъ бы въ устье воронкообразнаго пространства между тремя крыльями направляющей другого и, при дальнѣйшемъ сближеніи вагоновъ, пружина, наконецъ, защелкивалась бы, причемъ головки будутъ прижаты другъ другу въ вполнѣ опредѣленномъ положеніи, именно такъ, что отверстія соотвѣтствующихъ рукавовъ будутъ совпадать; въ такое положеніе ихъ непремѣнно приведутъ пружины по мѣрѣ того, какъ онѣ все болѣе и болѣе подходятъ къ узкому концу воронки, и въ такое положеніе головки могутъ прійти, такъ какъ онѣ свободно подвѣшены.

Такова сущность устройства, въ первоначальномъ видѣ. Впослѣдствіи въ немъ сдѣланы нѣкоторыя усовершенствованія; напр., пружины прикрѣплены къ особому пружинному буферу для смягченія толчка при сцѣпкѣ и пр. (см., напр., Engineering, 1904 г., Sept. 23), но сущность прибора остается та же.

Сцѣпка, при растаскиваніи вагоновъ, можетъ расцѣпляться сама собою.

§ 108. II). Рукава металлическіе.

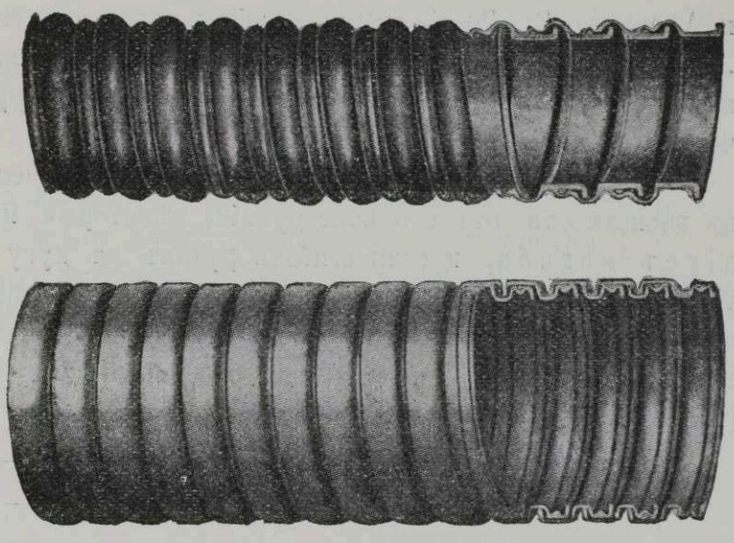
Металлическіе рукава пользуются въ настоящее время довольно широкимъ распространеніемъ. Такіе рукава готовятся почти исключительно по системѣ Левассёра (Levasseur, Парижъ), предложенной болѣе 20 лѣтъ тому назадъ и состоящей въ томъ, что труба или рукавъ образуются изъ длинной, непрерывной тонкой металлической ленты спеціальнаго сѣченія, которая завивается въ *винтовую спираль* и образуетъ непрерывную трубу, завитки которой, при дѣйствіи внутренняго давленія жидкости, прилегаютъ другъ къ другу и, благодаря этому нажатію, не пропускаютъ жидкость. Для болѣе надежнаго достиженія такимъ путемъ непроницаемости обыкновенно между завитками металлической спирали вводится во всю длину по спирали прокладка изъ болѣе мягкаго матеріала (резина, азбестъ).

Порядокъ изготовленія гибкихъ спиральныхъ рукавовъ, вообще говоря, вкратцѣ слѣдующій: *

---

* Я имѣлъ возможность ознакомиться лично съ изготовленіемъ гибкихъ трубъ на заводѣ въ Пфорцгеймѣ (Баденъ), благодаря любезности директора Берлинской фирмы „Gesellschaft für Hochdruck-

Широкая металлическая полоса разрѣзается на узкія ленты потребной ширины, при помощи круглыхъ ножницъ, и затѣмъ съ этихъ лентъ роликами удаляютъ заусенцы и выравниваютъ ленты. Послѣ этого стальныя ленты обезжириваются и цинкуются гальваническимъ путемъ (напряженіе тока около 3—5 вольтъ). Затѣмъ полоска идетъ въ вальцы, которые придаютъ ей въ поперечномъ сѣченіи потребный профиль. Профили бываютъ весьма разнообразны; два примѣра профилей показано на чертежѣ 238. Окончательная форма профиля получается съ двухъ, а для толстыхъ полосъ — и съ трехъ проходовъ. При малыхъ, тонкихъ лентахъ нижній валецъ получаетъ движеніе отъ механизма станка, а не увлекается въ движеніе лишь однимъ треніемъ ленты, такъ какъ эта послѣдняя рисковала бы быть разорванной. Толщина лентъ бываетъ отъ 0,3 до 2 миллиметровъ, ширина же ихъ можетъ доходить до 100 миллиметровъ и болѣе. Матеріаломъ для лентъ служитъ не только Сименсъ-Мартеновская сталь, но также и бронза, латунь, алюминій и др. металлы, смотря по назначенію рукава.



Чер. 238.

Изъ приготовленныхъ такимъ образомъ лентъ свертываютъ затѣмъ спиральный рукавъ, завивая ленту по винтовой линіи въ спираль на особомъ станкѣ; лента идетъ между тремя роликами и навивается на оправку. Такъ какъ всѣ рукава, подверженные изнутри давленію, всегда получаютъ между завитками металлической ленты прокладку, то навиваніе на оправку металлической ленты производится одновременно съ навиваніемъ на нее же, и съ тѣмъ же шагомъ винтовой линіи, тонкой ленточки изъ резины или изъ азбеста. Профилированная лента свивается съ одной катушки, а прокладочная ленточка—съ другой, и каждая направляется надлежащимъ образомъ. Прокладкой служитъ резина, если рукавъ назначается для воды, воздуха и пр., и покрытый графитомъ азбестовый шнуръ въ томъ случаѣ, если рукавъ назначается для пара.

Длина рукавовъ небольшого діаметра доходитъ до 25 метровъ, рукава же бо́льшаго діаметра имѣютъ меньшую длину. Рукава часто оплетаютъ снаружи, какъ для защиты отъ внѣшнихъ вліяній, такъ и для того, чтобы сдѣлать рукавъ болѣе способнымъ сопротивляться продольнымъ усиліямъ (для чего оплетка должна непремѣнно быть скрѣплена съ флянцами или другими соединительными деталями, которыми оканчиваются рукава). Рукавъ оплетается при помощи бѣгающихъ вокругъ него катушекъ, наподобіе того, какъ это дѣлается при плетеніи шнурковъ.

Главнѣйшія выгоды металлическихъ рукавовъ состоятъ въ ихъ жесткости и способности сопротивляться внѣшнимъ сплющивающимъ силамъ; затѣмъ, такіе рукава, сдѣланные изъ прочныхъ матеріаловъ — стали, бронзы и пр., могутъ прекрасно выдерживать какъ высокую температуру и давленіе, что̀ дѣлаетъ ихъ пригодными для проводки перегрѣтаго пара, сжатаго воздуха и пр., такъ и химическое дѣйствіе многихъ жидкостей, для которыхъ резиновые рукава оказываются мало пригодными.

Rohrleitungen“, г-на Теодора Шварца, давшаго мнѣ рекомендательное письмо на заводъ „Metallschlauch-Fabrik Pforzheim“ (vorm. Hch. Witzenmann). На заводѣ я встрѣтилъ крайне любезный пріемъ и могъ подробно ознакомиться съ изготовленіемъ гибкихъ рукавовъ и другихъ спеціальныхъ издѣлій завода (сварные волнистые расширители, о которыхъ будетъ сказано далѣе).

СТУДЕНЧЕСКИЙ

Металлическіе рукава изготовляются, въ спеціальныхъ случаяхъ, для очень высокихъ давленій: для рабочаго давленія до 200 атм. и для пробнаго давленія до 600 атм. Діаметръ обычныхъ продажныхъ рукавовъ бываетъ до 100 mm.

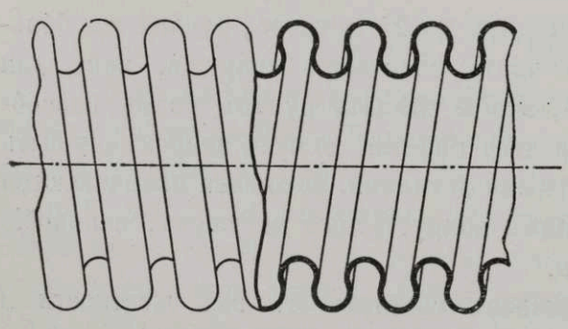
Соединенія металлическихъ рукавовъ для небольшихъ давленій производятся такимъ образомъ, что на конецъ рукава, представляющій изъ себя какъ бы винтовую нарѣзку, навинчивается металлическая часть, подобно тому, какъ такая же часть натягивается на резиновый рукавъ; затѣмъ эти части припаиваются къ рукаву и двѣ такія части соединяются между собою, какъ и при органическихъ рукавахъ. Для рукавовъ высокаго давленія, или для высокой температуры припаиваніе недопустимо и для такихъ случаевъ конструированы особыя спеціальныя соединенія, обыкновенно съ сальниками, подробности о которыхъ можно найти въ каталогахъ соотвѣтствующихъ фирмъ.

Гибкія металлическія трубы изготовляются, вообще, многими заводами Европы и Америки. Въ Россіи изготовленіемъ ихъ съ успѣхомъ занимается Рижскій заводъ „Русская Фабрика Металлическихъ Рукавовъ“, находящійся въ связи съ названной выше фирмой въ Пфорцгеймѣ и изготовляющій трубы по способамъ, принятымъ означенной фирмой.

Слѣдуетъ указать еще, что для металлическаго рукава существуетъ, конечно, въ зависимости отъ его конструкціи, нѣкоторый наименьшій допустимый радіусъ изгиба, и если сгибать рукавъ въ дугу съ меньшими радіусами кривизны, то возможно уже повредить завитки слишкомъ сильнымъ нажатіемъ ихъ. Названная сейчасъ Рижская фирма даетъ въ своемъ каталогѣ такіе допустимые наименьшіе радіусы (конечно, это лишь среднія величины) для рукавовъ съ азбестовой прокладкой (типъ Б. Д.):

ДІАМЕТРЪ РУКАВА	10—20	25—40	50—100	125—300 mm
Радіусъ изгиба долженъ быть болѣе внутренняго діаметра рукава въ	12—16	10—12	8—10	7—8 разъ

Кромѣ описанныхъ до сихъ поръ гибкихъ трубъ, состоящихъ изъ завитой по спирали металлической ленты, существуютъ и другія системы. Такъ, напримѣръ, иногда гибкая труба дѣлается въ видѣ *волнистой* трубы, причемъ волны могутъ получаться или путемъ свариванія кромокъ спирально завитой полосы надлежащаго сѣченія, или же путемъ *выдавливанія* волнъ на цѣлой, первоначально гладкой обыкновенной трубѣ. Путемъ свариванія желѣзныя волнистыя гибкія трубы готовитъ заводъ въ Пфорцгеймѣ, и о нихъ скажемъ далѣе, въ главѣ о расширителяхъ. Путемъ же выдавливанія волнъ на цѣлой трубѣ гибкія латунныя волнистыя трубы изготовляются напримѣръ, на заводѣ „Die deutschen Waffen — und Munitionsfabriken“. Такая труба показана на чер. 239.



Чер. 239.

Описаніе спеціальной гибкой трубы, построенной для всасыванія зерна всасывающимъ элеваторомъ, гдѣ рукавъ долженъ сопротивляться сильному изнашиванію текущимъ внутри него зерномъ, имѣется въ журналѣ „Engineering News“, 1896 г., Novemb. 19, стр. 325.

ГЛАВА XV.

О проэктированіи фасонныхъ частей.

§ 109. Какъ уже было сказано раньше, только въ сравнительно рѣдкихъ случаяхъ труба на всемъ своемъ протяженіи идетъ совершенно прямолинейно и имѣетъ постоянный діаметръ. Вообще говоря, въ практикѣ мы почти всегда имѣемъ дѣло не съ такой трубой, а съ *сѣтью* трубъ, т. е. съ весьма сложной иногда системой трубъ разныхъ діаметровъ, и прямыхъ и кривыхъ, которыя во многихъ мѣстахъ соединяются одна съ другой или какъ бы выходятъ одна изъ другой и пр. Такія сложныя сѣти необходимы для возможности доставлять по трубамъ содержимое ихъ въ различныя мѣста потребленія (число которыхъ иногда считается десятками тысячъ), расположенныя въ разныхъ мѣстахъ и на разныхъ уровняхъ. Такая сѣть составляется, какъ и простая длинная труба, изъ многихъ отдѣльныхъ частей, и понятно, что въ ней, кромѣ прямыхъ частей, изъ которыхъ можетъ быть составлена простая длинная прямолинейная труба, и о которыхъ мы до сихъ поръ все время говорили, будетъ много и другихъ частей, форма которыхъ соотвѣтствуетъ тѣмъ цѣлямъ, которыя имѣются въ виду при направленіи жидкости сообразно надобности въ разныхъ мѣстахъ сѣти и при пусканіи въ каждое мѣсто ея того именно (или хотя приблизительно того) количества ея, которое требуется.

Сообразно этимъ двумъ главнымъ цѣлямъ, которыя приходится осуществлять при устройствѣ сѣти, и фасонныя части могутъ быть раздѣлены на два главныхъ класса, именно на:

1). Части, служащія для измѣненія *направленія* движенія жидкости,

и

2). Части, служащія для уменьшенія *количества* жидкости, текущаго по извѣстному направленію, путемъ отведенія части ея по другому или нѣсколькимъ другимъ направленіямъ, причемъ и первоначальное направленіе всего количества жидкости можетъ даже и не быть сохранено ни одной каплей ея, а изъ этого мѣста развѣтвленія жидкость разойдется во всѣ стороны по новымъ направленіямъ, изъ которыхъ ни одно не совпадаетъ съ первоначальнымъ.

Могутъ быть еще и другія цѣли, напр., измѣненіе скорости жидкости и пр., но указанныя выше являются главными.

Перечислимъ теперь наиболѣе употребительныя фасонныя части всѣхъ этихъ классовъ.

Къ **первому** классу принадлежатъ:

a). **Закругленія или кривыя** (весьма неудачно, по моему, названныя по Русски „отводами“). Примѣры ихъ видны на табл. 66, фиг. 2, 3, 4; табл. 122, фиг. 4, 13 и 14, фиг. 18 и 19.

Обыкновенно подъ этимъ именемъ подразумѣваютъ заворотъ оси трубы на всякій уголъ; но часто (хотя это ясно не указано даже, напр., въ Нормахъ 5 го Водопроводнаго Съѣзда), если уголъ поворота трубы есть 90°, закругленіе называютъ *колѣномъ*, такъ что имѣемъ

b). **Колѣно.** Примѣровъ въ *Атласѣ* — масса: на табл. 64, фиг. 14—15; табл. 69, фиг. 11 и 17; табл. 72, фиг. 6; табл. 73, фиг. 12; табл. 83, фиг. 8—9; табл. 90, фиг. 2 и 3, и другія.

c). **Кривыя трубы вообще;** это болѣе сложныя формы, составленныя изъ нѣсколькихъ кривыхъ (обыкновенно дугъ круга) и служащія для болѣе сложнаго проведенія жидкости по такому изогнутому многообразно каналу, тамъ, гдѣ это требуется какими нибудь конструктивными соображеніями. Примѣры такихъ трубъ имѣются въ *Атласѣ* на слѣдующихъ таблицахъ:

Табл. 69, фиг. 3—5 и 12—15. Оба эти примѣра, взятые изъ паровозной практики, даютъ замѣчательные образцы того, какъ конструкторъ въ весьма тѣсномъ пространствѣ, представляемомъ ему дымовой коробкой, ухитрился, безъ черезчуръ рѣзкихъ закругленій, въ первомъ примѣрѣ — измѣнитъ направленіе теченія пара на 90°, а во второмъ — даже на 180°.

Та же табл., фиг. 16, правая часть показаннаго на фигурѣ расширителя.

Табл. 88, фиг. 1—8 — переводъ жидкости, такъ сказать, въ параллельную плоскость и одновременно съ этимъ — измѣненіе скорости теченія жидкости (діаметръ уменьшенъ съ 2400 до 2052 mm).

Табл. 89, фиг. 7. Искривленіе, безполезное для теченія жидкости, но нужное само по себѣ какъ таковое, для цѣлей приданія трубѣ большихъ упругихъ деформацій. Такую же цѣль преслѣдуютъ сложныя формы табл. 94, фиг. 1 и 4—5.

Ко **второму** классу принадлежатъ:

α). *Развѣтвленія*, примѣръ какового имѣется на табл. 122, фиг. 3. Эта часть служитъ для того, чтобы жидкость, текущую въ извѣстномъ направленіи, пустить по двумъ новымъ направленіямъ, изъ которыхъ ни одно не совпадаетъ съ первоначальнымъ. Отношеніе количествъ жидкости, пущенныхъ по новымъ направленіямъ, можетъ быть произвольно, и сообразно ему получатся діаметры обѣихъ новыхъ трубъ и форма развѣтвленія. Уголъ раздвоенія, т. е. уголъ между осями двухъ меньшихъ трубъ, по которымъ идетъ жидкость, можетъ быть произвольнымъ, но чѣмъ онъ меньше, тѣмъ длиннѣе должна быть сама часть, чтобы умѣстились флянцы или муфты обѣихъ вѣтвей, не зацѣпивъ другъ за друга.

β). *Отвѣтвленія.* Въ этомъ случаѣ часть жидкости (и обыкновенно бо́льшая часть) сохраняетъ свое направленіе, а другая часть жидкости пускается по новому направленію. Примѣръ имѣется въ *Атласѣ* на табл. 109, фиг. 8—12.

γ). *Тройники.* Это одна изъ наиболѣе распространенныхъ фасонныхъ частей, представляющая, собственно, частный случай отвѣтвленія, когда уголъ боковой трубы съ первоначальной равенъ 90°. Обыкновенно, діаметръ главной трубы при этомъ не измѣняется въ самомъ тройникѣ, а если много жидкости взято въ сторону, то за тройникомъ ставятъ *уменьшитель діаметра*, хотя есть примѣры и тройниковъ съ уменьшеніемъ діаметра въ самомъ тройникѣ, какъ, напр., на табл. 67, фиг. 6 — 9.

Примѣры же обыкновенныхъ тройниковъ имѣются на табл. 65, фиг. 3—5 (эта часть есть, собственно, соединеніе тройника и колѣна); табл. 66, фиг. 7; табл. 122, фиг. 1 и 2.

Конечно, направленіе теченія жидкости можетъ быть и обратное тому, которое мы пока предполагали при сдѣланныхъ опредѣленіяхъ. Именно, пока мы предполагали, что жидкость течетъ по наибольшей трубѣ и затѣмъ разливается по меньшимъ трубамъ (случай водопровода и вообще раздачи жидкости изъ центральнаго мѣста во многія другія); но можетъ быть и обратный случай, именно, что жидкость изъ многихъ мѣстъ постепенно, все въ увеличивающемся количествѣ, собирается въ трубы все бо́льшаго діаметра (случай канализаціи); и въ этомъ случаѣ названія фасонныхъ частей остаются тѣ же самыя, мѣняется же только, такъ сказать, знакъ у скорости теченія по отдѣльнымъ трубамъ, сходящимся въ фасонной части.

Болѣе сложныя развѣтвленія трубъ въ практикѣ большихъ, серьезныхъ трубопроводовъ (водопроводы, паропроводы и т. п.) встрѣчаются рѣдко. Одинъ примѣръ приведенъ на табл. 122, фиг. 10.

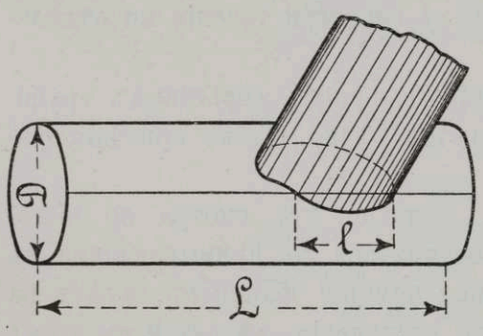
Таковы главнѣйшія формы фасонныхъ частей. Понятно, что, смотря по обстоятельствамъ, всѣ эти и подобныя имъ части могутъ соединяться съ примыкающими къ нимъ трубами какъ при помощи раструбовъ, такъ и при помощи флянцевъ, муфтъ на рѣзьбѣ, спеціальныхъ соединеній и т. д. Выборъ типа соединенія дѣлается въ этомъ случаѣ на основаніи совершенно тѣхъ же соображеній, какъ и при прямыхъ трубахъ. Точно также и матеріалъ для фасонной части, вообще говоря, можетъ быть выбранъ совершенно произвольно. По изъ соображеній относительно удобства изготовленія этихъ частей, имѣющихъ всегда болѣе или менѣе сложную форму, выборъ матеріала въ обычной практикѣ значительно стѣсняется. Понятно, что наиболѣе просто получить сложныя формы при помощи *отливки* и поэтому при трубахъ литыхъ (чугунныхъ, стальныхъ и бронзовыхъ) фасонныя части и подавно бываютъ литыя изъ того же, или и изъ другого матеріала. При желѣзныхъ клепаныхъ трубахъ можно встрѣтить желѣзныя же колѣна и закругленія, составленныя изъ коническихъ барабановъ, а при газовыхъ желѣзныхъ трубахъ — спеціальные желѣзные углы, тройники и пр., но лишь при небольшомъ діаметрѣ трубы. При большихъ же трубахъ чаще всего прибѣгаютъ къ литымъ чугуннымъ или стальнымъ, а то и бронзовымъ фасоннымъ частямъ. При мѣдныхъ трубахъ бываетъ то же самое. При свинцовыхъ трубахъ довольно сложныя развѣтвленія получаются безъ спеціальныхъ фасонныхъ частей простой спайкой надлежаще срѣзанныхъ трубъ, такъ что фасонныя части образуются какъ бы сами собою на мѣстѣ.

§ 110. Относительно выбора размѣровъ фасонныхъ частей, и главное — толщины стѣнокъ ихъ, всѣ существующіе курсы машиностроенія благоразумно умалчиваютъ (и лишь изрѣдка встрѣчаются отрывочныя указанія, какъ напр. у Баха), да и про самыя то фасонныя части обыкновенно ни слова не говорится, какъ будто бы это есть что то такое, понятное само собою. Поэтому, привести здѣсь указанія, достаточныя для спокойнаго проэктированія такихъ частей, и мы лишены возможности, и принуждены ограничиться нѣкоторыми указаніями изъ практики, въ видѣ данныхъ въ *Атласѣ* детальныхъ чертежей, и прибавить къ нимъ лишь одно соображеніе общаго характера, касающееся прочности стѣнокъ такихъ фасонныхъ частей, гдѣ двѣ трубы, или болѣе,

пересѣкаются (отвѣтвленія, развѣтвленія, тройники и т. п.), такъ что пустота каждой изъ нихъ вырѣзаетъ часть стѣнки изъ другой трубы и ослабляетъ ее и взаимно. Вотъ относительно-то этого ослабленія мы теперь и поговоримъ. Заслуга — указать ясно, насколько вообще серьезно надо относиться къ подобнымъ ослабленіямъ, принадлежитъ профессору Баху, который, послѣ своихъ извѣстныхъ опытовъ надъ прочностью ослабленныхъ вырѣзами стѣнокъ котловъ или, лучше сказать, сосудовъ, пришелъ къ тому заключенію, что ослабленіе, происходящее при этомъ, никакъ нельзя разсматривать какъ только простое удаленіе части стѣнки, и пропорціональное уменьшеніе ея сопротивленія разрыву по образующей, а нашелъ, что здѣсь происходитъ кое что похуже, а именно *изгибъ* окружающей вырѣзъ стѣнки. Объ этомъ мы теперь и поговоримъ (слѣдуетъ сказать, что почтенный профессоръ Тиме давно уже указывалъ на это въ своемъ Курсѣ Паровыхъ Котловъ).

Какъ мы раньше говорили и принимали (и совершенно законно), если имѣемъ безгранично-простирающуюся цилиндричесмую трубу, то въ каждомъ діаметральномъ сѣченіи ея появляется напряженіе на разрывъ, выражающееся, при малой толщинѣ стѣнокъ, формулой Маріотта, а при большой, уже для каждаго мѣста по толщинѣ стѣнки, формулой Ламѐ. Но все таки это чистый разрывъ.

Если же мы въ какомъ нибудь мѣстѣ трубы вырѣжемъ изъ стѣнки нѣкоторую часть ея, ограниченую произвольною фигурою (т. е. какъ бы высѣчемъ стѣнку цилиндромъ съ такимъ основаніемъ), чер. 240, то въ каждомъ продольномъ сѣченіи трубы окажется вырѣзанной часть стѣнки съ длиною l. Если положимъ, что длина трубы L, то на первый взглядъ можетъ показаться (какъ это всѣ и принимали десятки лѣтъ), что образующая ослаблена лишь чисто геометрически — часть ея исчезла и разрывающая сила на всей длинѣ трубы, равная $\frac{DLp}{2}$, придется теперь не на площадь $L\delta$,



Чер. 240.

а распредѣлится (но попрежнему равномѣрно при тонкой стѣнкѣ и по закону Ламѐ при толстой) только по новой площади, такъ что, для тонкой стѣнки, по формулѣ Маріотта, напряженіе на разрывъ же будетъ только теперь

$$Z' = \frac{DLp}{2(L-l)\delta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (136),$$

т. е. больше прежняго въ отношеніи $\frac{L}{L-l}$, и тамъ, гдѣ длина l по образующей будетъ имѣть наибольшую величину l_{max}, напряженіе Z' будетъ тоже наибольшимъ и равнымъ

$$Z'_{max} = \frac{Dlp}{2(L-l_{max})\delta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (137).$$

Для простѣйшаго и наиболѣе часто встрѣчающагося случая, когда обѣ пересѣкающіяся трубы—круглыя и оси ихъ лежатъ въ одной плоскости и взаимно перпендикулярны, l_{max} будетъ равно діаметру d вырѣзающей трубы, и наибольшее напряженіе въ вырѣзаемой трубѣ будетъ

$$Z'_{max} = \frac{Dlp}{2(L-d)\delta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (138).$$

Такъ очень долгое время, можно сказать, до 80-хъ годовъ, всѣ и принимали при построеніи котловъ, а тѣмъ болѣе фасонныхъ частей, но мало-по-малу, съ повышеніемъ давленій и допускаемыхъ напряженій, которыя въ стѣнкахъ пароходныхъ кот-

ловъ стали доводить до 11kg/□mm, начали замѣчать, что дѣло не ладно. У мѣстъ соединенія двухъ цилиндровъ котлы текли (и никакая чеканка не помогала), а то и лопались, тройники и тѣла вентилей тоже рвало десятками. Но только Бахъ въ 1894 году выяснилъ положительно, какъ велико бываетъ вліяніе такого вырѣза. Работа Баха мною была тогда же переведена на Русскій языкъ и помѣщена въ журналѣ „Технический Сборникъ“. Именно, Бахъ разъяснилъ *, что вокругъ мѣста вырѣза появляются напряженія на *изгибъ*, а разъ дѣло пошло на изгибъ, то напряженіе можетъ увеличиться не въ отношеніи $\frac{L}{L - l_{max}}$, а во много разъ больше. Обычное прежнее утѣшеніе было такое—„хотя, молъ, и вырѣзана часть образующей (стѣнки), но за то вѣдь присоединена большая площадь новаго матеріала, во много разъ больше вырѣзанной, отростокъ тройника или другая вѣтвь и пр., такъ что вырѣзъ *съ избыткомъ* покрытъ!“ Но то-то и горе, что новаго матеріала и много иногда прибавляется, а все таки онъ не въ силахъ измѣнить распредѣленіе напряженій и изгибъ все таки будетъ, какъ бы толстъ ни былъ приливъ или приклепанная часть, хотя, конечно, приливъ этотъ нѣсколько и уменьшаетъ напряженіе отъ этого изгиба въ первоначальной стѣнкѣ **.

Вотъ это-то и надо имѣть въ виду при устройствѣ котловъ, трубъ и фасонныхъ частей съ вырѣзами и усиливать стѣнки ихъ, придавая имъ толщину *бо́льшую противъ нормальной*, потребной для простой трубы. Но *на сколько* взять стѣнку толще—этого, къ сожалѣнію, теорія пока рѣшить не можетъ, и поэтому при построеніи фасонныхъ частей идутъ ощупію. А не придавать фасоннымъ частямъ толщины, излишней противъ безусловно необходимой, крайне желательно, ибо, по сложности отливки своей, такія части гораздо дороже простыхъ трубъ; такъ, напр., по Американскимъ даннымъ, фасонныя водопроводныя трубы при покупкѣ на вѣсъ обходятся за пудъ **вдвое** дороже, нежели прямыя трубы.

Русскія Нормы Пятаго Водопроводнаго Съѣзда требуютъ, чтобы толщина стѣнокъ фасонныхъ частей для водопроводныхъ трубъ была бы на 20% больше противъ нормальной толщины стѣнокъ. Это очень хорошее требованіе ***, хотя, конечно, удорожаетъ стоимость сѣти.

Въ „Нормахъ“ для Нѣмецкихъ чугунныхъ трубъ, упомянутыхъ на табл. 61 *Атласа*, рекомендуется утолщать стѣнки фасонныхъ частей, имѣющихъ діаметръ свыше 400 mm, но *насколько* утолщать — къ сожалѣнію не сказано!

Американцы, наоборотъ, дѣлаютъ въ нѣкоторыхъ водопроводахъ (водопроводъ города Бостонъ, табл. 122 и 111) толщину стѣнокъ фасонныхъ частей *такою же*, какъ и у нормальныхъ трубъ и, повидимому, не встрѣчали отъ этого непріятностей. Но это крайность, которой не рекомендуемъ придерживаться, особенно тамъ, гдѣ сами стѣнки трубъ были спроэктированы съ не особенно большою надежностью, т. е. взяты довольно тонкими.

Тамъ, гдѣ усиленіе фасонной части посредствомъ увеличенія толщины стѣнки является неудобнымъ, напр., потому, что стѣнка и безъ того уже очень толста, или по какимъ-либо инымъ соображеніямъ, прибѣгаютъ къ другимъ средствамъ для надежной связи противолежащихъ половинъ трубы у мѣста вырѣза. Однимъ изъ такихъ средствъ,

---

* весьма кратко; я придумалъ очень милое и элементарное доказательство того, что вокругъ мѣста вырѣза появится изгибъ и излагаю его уже много лѣтъ на моихъ лекціяхъ по Деталямъ Машинъ. А. С.

** Хорошіе примѣры такого усиленія главной трубы въ случаѣ присоединенія къ ней поперечной, мы имѣемъ въ *Атласѣ* на табл. 70, фиг. 3 и табл. 103, фиг. 1. Такъ какъ въ этихъ примѣрахъ давленіе жидкости большое и стѣнка сильно напряжена, то усиленіе ея добавочнымъ матеріаломъ въ мѣстѣ вырѣза является въ особенности необходимымъ.

*** Къ сожалѣнію, не указано, какимъ образомъ Съѣздъ пришелъ къ тому, что нужно утолщать именно „на двадцать“ процентовъ, а не на пятнадцать или на двадцать пять. Нѣкоторыя поясненія здѣсь были бы очень умѣстны.

которое съ успѣхомъ употребляется уже много лѣтъ для усиленія насосныхъ цилиндровъ (гдѣ такое усиленіе даже приблизительно расчитывается), является стягиваніе стѣнокъ трубы болтами, примѣръ чему видимъ на табл. 109, фиг. 8—12. Первое понятіе о размѣрахъ болтовъ можно получить, расчитавши ихъ такъ, чтобы сопротивленіе ихъ замѣнило бы сопротивленіе вырѣзанной части, если считать, что просто вырѣзана часть стѣнки и потеряна площадь ея сопротивленія чистому разрыву. Примѣняя это къ фиг. 8 — 12, напишемъ такое уравненіе (считая длину вырѣзанной части образующей равною 1300 mm):

$$54 \cdot 1300 \cdot Z_m = 2 \frac{\pi \cdot 90^2}{4} \cdot Z_б .$$

Если положимъ, что въ чугунѣ трубы допущено на разрывъ напряженіе $Z_m = 1 \text{kg}/\square\text{mm}$, то найдемъ, что въ болтахъ напряженіе будетъ $Z_б = \sim 6 \text{kg}/\square\text{mm}$, что̀ и можно считать вполнѣ подходящимъ. Но, конечно, такая достаточная прочность болтовъ значитъ только, что они способны удержать **всю трубу, какъ одно цѣлое**, отъ раскалыванія по всей длинѣ сразу, но, разумѣется, этимъ не устраняются *мѣстные* прогибы стѣнки около тѣхъ же болтовъ, и связанное съ ними напряженіе на изгибъ, хотя, разумѣется, оно стало меньше благодаря присутствію болтовъ.

Въ практикѣ тѣла большихъ литыхъ фасонныхъ частей нерѣдко усиливаютъ также при помощи наружныхъ р е б е р ъ (какъ то, напримѣръ, видно изъ рисунка на стр. 221), а иногда такія ребра даже предписываются правилами; такъ, напримѣръ, Нормы для фасонныхъ частей, установленныя въ Германіи тѣми же Обществами, какъ и для прямыхъ чугунныхъ трубъ (см. таблицу 61 *Атласа*), рекомендуютъ, начиная съ діаметра въ 400 mm фасонныя части съ отвѣтвленіями усиливать наружными ребрами, *если понадобится* (eventuell). Сказать напередъ, умозрительно, насколько велика польза, приносимая этимъ излишнимъ матеріаломъ, употребленнымъ именно въ видѣ реберъ, и не было бы достаточно половину, что ли, его употребить попросту на увеличеніе толщины стѣнки—невозможно. Но надо полагать, что, такъ какъ стѣнки корпусовъ фасонныхъ частей подвергаются не только напряженіямъ на разрывъ, но и на изгибъ (см. далѣе, стр. 372 и слѣд.), то в ы с о к і я ребра должны приносить пользу въ смыслѣ прочности, а вреда отъ нихъ ожидать трудно, исключая лишь значительное увеличеніе вѣса и безъ того тяжелой крупной фасонной части.

Вотъ все существенное, что̀ можно сказать о прочности фасонныхъ частей вообще, изъ какого бы матеріала онѣ ни состояли.

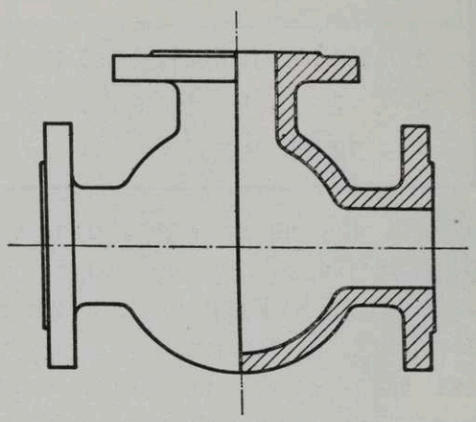
Что̀ касается в н ѣ ш н и х ъ размѣровъ такихъ частей, то здѣсь необходимо имѣть въ виду удобства: сборки, замѣны, составленія плана сѣти трубъ и пр. Такъ, напримѣръ, всѣ тройники, назначаемые для вставки въ трубы съ діаметромъ D, должны имѣть одну и ту же длину для всевозможныхъ діаметровъ отвѣтвляемой трубы, и разстояніе отъ оси главной трубы до торца флянца отвѣтвленія должно тоже быть сдѣлано одинаковымъ во всѣхъ тройникахъ, независимо отъ діаметра отвѣтвляемой трубы. Точно также, должны быть установлены извѣстныя соотвѣтствія между внѣшними размѣрами тройниковъ и колѣнъ и пр. Все это требуетъ *строго выработанной системы* н о р м а л ь н ы х ъ ф а с о н н ы х ъ ч а с т е й, строящихся извѣстнымъ заводомъ, или даже употребляемыхъ въ цѣлой странѣ. Вопросъ этотъ очень сложенъ и часто каждый заводъ, каждый городъ и пр. имѣютъ свои нормы фасонныхъ частей. Разсмотрѣніе детальныхъ размѣровъ различныхъ системъ такихъ частей повело бы здѣсь насъ слишкомъ далеко.

§ 111. Теперь сдѣлаемъ кое какія замѣчанія относительно нѣкоторыхъ видовъ фасонныхъ частей.

Начнемъ съ л и т ы х ъ (изъ чугуна, стали или бронзы) фасонныхъ частей.

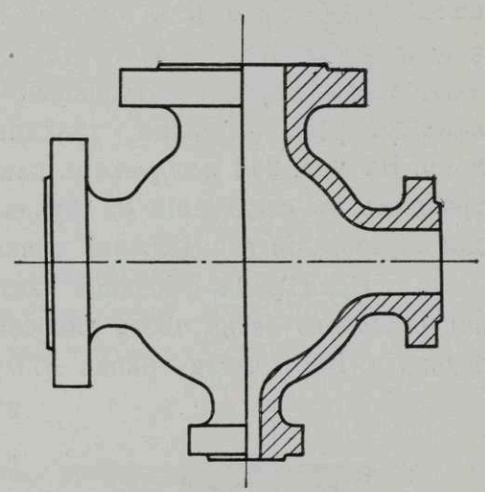
Изъ сравнительно новыхъ образцовъ фасонныхъ частей заслуживаютъ вниманія такъ называемыя *шаровыя* части: тройники, кресты и пр., появившіяся сперва въ Америкѣ, а теперь строющіяся многими заводами Европы. Въ такихъ тройникахъ и

крестахъ средняя часть, гдѣ пересѣкаются двѣ трубы и взаимно вырѣзаютъ другъ друга, не оставлена въ своемъ обычномъ видѣ, именно двухъ цилиндровъ, а замѣнена *шаромъ*, къ которому присоединены, такимъ образомъ, три или четыре патрубка (чер. 241 и 242). Выгодами такой замѣны мѣста пересѣченія шаромъ являются: бо́льшая прочность, меньшія напряженія при отливкѣ, меньшія сопротивленія теченію жидкости (меньшая потеря напора), нежели при обычной формѣ.



Чер. 241.

Доказать расчетомъ бо́льшую прочность шарового тройника или креста противъ обычнаго — невозможно. Тѣмъ не менѣе, почти всѣ заводы, строющіе такія части, утверждаютъ это, и нѣтъ основаній имъ не вѣрить. Конечно, истину можно обнаружить лишь путемъ *непосредственнаго испытанія*, т. е. сравнительнаго разрушенія прежнихъ и шаровыхъ фасонныхъ частей. Въ литературѣ я такихъ испытаній совершенно не нашелъ, и онѣ крайне желательны. Но я думаю, что благодаря отсутствію такихъ рѣзкихъ переходовъ, какія имѣются при пересѣченіи двухъ цилиндровъ, шаровая часть, болѣе плавно соединяющаяся съ патрубками, во всякомъ случаѣ должна испытывать меньшія напряженія на изгибъ, нежели обычная, въ особенности, если у этой послѣдней не сдѣлано въ мѣстахъ пересѣченія цилиндровъ хорошихъ закругленій значительнаго радіуса. Г. Вестфаль, въ Журналѣ Нѣмецкихъ Инженеровъ, съ обычною своею положительностію и таковою же туманностію, безаппеляціонно утверждаетъ, что введеніе шара „нисколько не способствуетъ крѣпости“, но такое утвержденіе такъ же голословно, какъ и обратное. Тутъ же, кстати, онъ дѣлаетъ попытку—опредѣлить расчетомъ напряженіе на изгибъ въ тройникѣ, получающееся благодаря ослабленію стѣнки, но расчетъ этотъ *совершенно фантастиченъ и произволенъ* (хотя и очень соблазнителенъ по своей простотѣ).



Чер. 242.

Уменьшеніе напряженій при отливкѣ и меньшее сопротивленіе теченію жидкости при шаровыхъ частяхъ никѣмъ не оспариваются.

Относительно размѣровъ шаровыхъ частей для паропроводовъ высокаго давленія имѣются не безинтересныя данныя въ каталогахъ фирмъ Зейффертъ и Общества „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“; мы здѣсь приводимъ размѣры тройниковъ:

Тройники фирмы „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“, чер. 243.

(матеріалъ—чугунъ или стальное литье, безразлично)

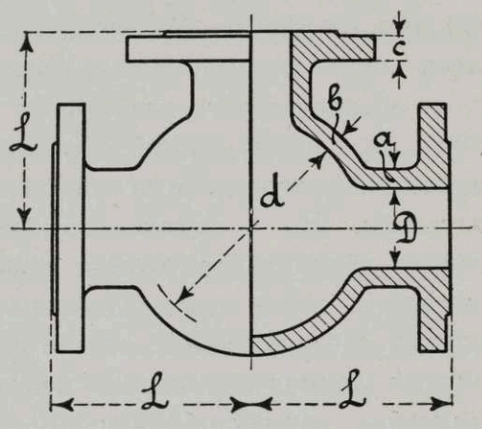
D =	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300
d	95	95	95	145	145	165	165	210	210	250	300	350	400	400	500	500
L	105	115	125	135	145	155	165	175	200	225	250	275	300	325	350	375
a	11	11	12	13	14	15	15,5	16,5	17,5	18	18,5	19	20	20	21	21,5
b	12,5	12,5	12,5	15	15	17,5	17,5	17,5	17,5	18	20	20	20	20	22,5	22,5
c	22	23	23	24	24	25	25	25	27	28	30	33	33	33	35	35

Тройники фирмы Ф. Зейффертъ, чер. 243.

(матеріалъ—стальное литье).

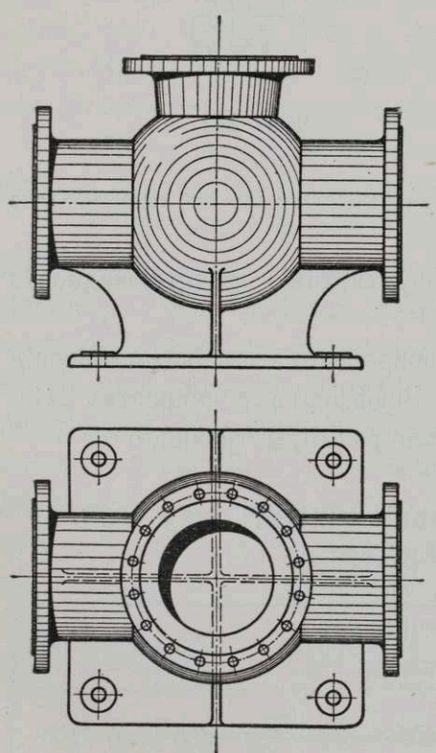
D	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
d	106	106	119	133	147	155	165	178	206	234	274	302	350	398	436	484	564	564	564	660	660	660
b	7	7	8	8,5	9	10	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	18	18	18	20	20	20
c	12	14	16	17	18	19	20	21	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	35	35	35

Къ числу фасонныхъ частей слѣдовало бы, собственно говоря, отнести и такъ называемыя неподвижныя точки трубопровода, въ которыхъ отдѣльныя части трубъ закрѣпляются для того, чтобы заставить трубу расширяться только въ одну желаемую сторону. Конструкція такихъ неподвижныхъ „точекъ“ не представляетъ ничего особеннаго и о нихъ отчасти говорилось уже и ранѣе. Весьма часто такія „точки“ соединяются съ другими фасонными частями трубъ, какъ-то: расширителями, тройниками, колѣнами и пр. На чер. 244 изображенъ какъ разъ шаровой тройникъ въ соединеніи съ фундаментной плитой для образованія неподвижной точки трубопровода.



Чер. 243.

Примѣромъ фасонной части колоссальныхъ размѣровъ можетъ служить отлитая изъ стального литья часть для соединенія трубъ 10000-сильныхъ турбинъ Ніагарскаго водопада. Вѣсъ части—около *2700* пудовъ; исполнена она извѣстнымъ заводомъ Шкода, въ Австріи. Фотографія части имѣется въ журналѣ „Engineering“, 1908 г., March 6.



Чер. 244.

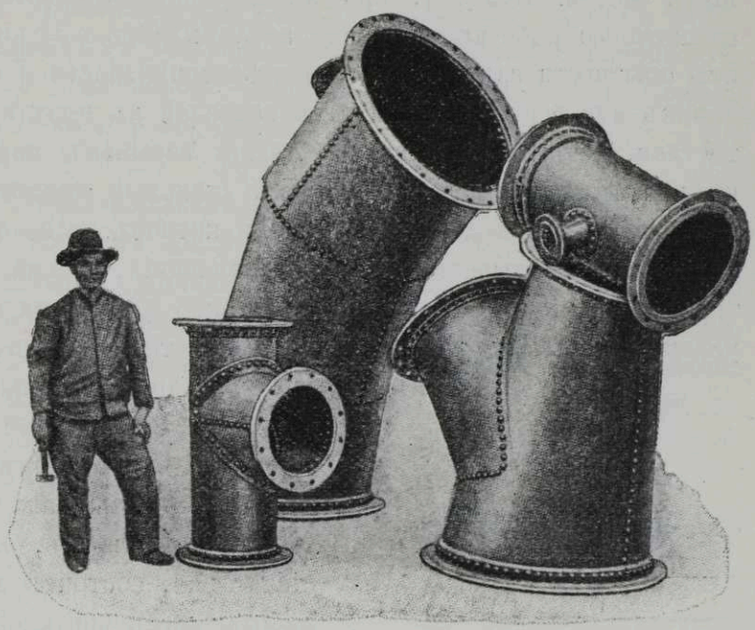
При желѣзныхъ, стальныхъ и мѣдныхъ трубахъ нерѣдко встрѣчаются фасонныя части, сдѣланныя изъ этихъ же матеріаловъ и полученныя путемъ сварки, склепки, припаиванія и пр.

При газовыхъ желѣзныхъ трубахъ употребляются извѣстныя всѣмъ фасонныя части, полученныя путемъ сварки (колѣна или углы, тройники, кресты и пр.).

Для серьезныхъ случаевъ (паропроводы) можно встрѣтить фасонныя части (кресты, тройники), сваренныя электрически, тѣмъ же путемъ, какъ и при сваркѣ флянцевъ съ трубою, см. страницу 267. Электрической вольтовой дугой прожигается отверстіе въ трубѣ, затѣмъ приставляется патрубокъ, вокругъ кладутся кусочки металла, и все это свариваютъ тѣмъ же паяльникомъ, причемъ металлъ плавится.

Клепаныя фасонныя части встрѣчаются обыкновенно при трубахъ большого діаметра. Примѣры ихъ показаны на чер. 245 и 246. Относительно фасонныхъ частей при клепаныхъ трубахъ вообще слѣдуетъ замѣтить слѣдующее. Въ томъ случаѣ, когда линія клепаныхъ трубъ должна измѣнить свое направленіе, поступаютъ подобно тому, какъ и при чугунныхъ трубахъ. Именно, если радіусъ закругленія требуется очень незначительный, то прибѣгаютъ къ вставкѣ въ трубопроводъ спеціальныхъ фасонныхъ

частей, отлитыхъ изъ чугуна, стали или бронзы. Если же требуемый радіусъ закругленія довольно значителенъ, то образуютъ вмѣсто кривой трубы многоугольную трубу, составляя закругленіе изъ ряда короткихъ барабановъ, концы которыхъ срѣзаны не плоскостями, перпендикулярными къ оси (причемъ барабаны имѣли бы видъ цилиндровъ), а плоскостями, наклонными къ оси, такъ что барабаны имѣютъ видъ наклонно усѣченныхъ цилиндровъ. Въ этомъ случаѣ иногда поступаютъ такъ, что барабаны, идущіе черезъ одинъ, имѣютъ концы слегка загнутыми, а въ эти концы входятъ промежуточные прямые барабаны, которые по сути дѣла являются совершенно аналогичными съ косыми муфтами, которыя мы разсматривали въ отдѣлѣ чугунныхъ трубъ, и которыя точно также иногда примѣняются и для желѣзныхъ и стальныхъ трубъ, клепаныхъ, Фергюсоновскихъ или сварныхъ. Примѣры подобныхъ косыхъ муфтъ имѣются въ *Атласѣ* на табл. 81, фиг. 13—17.

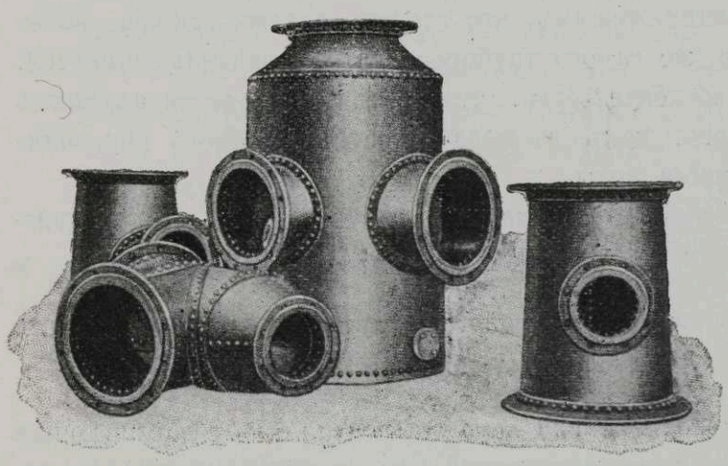


Чер. 245.

При *мѣдныхъ* фасонныхъ частяхъ употребляется и припаиваніе. Примѣры показаны на чер. 247.

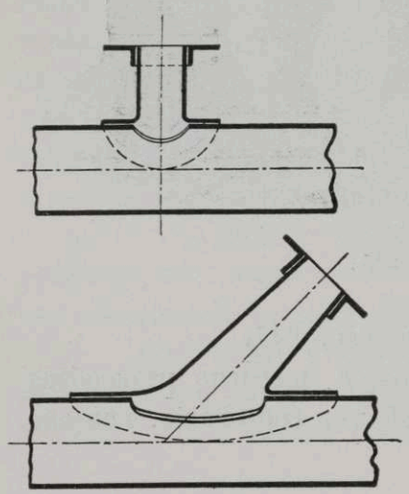
При *глиняныхъ* трубахъ фасонныя части устраиваются довольно разнообразныхъ формъ и напоминаютъ таковыя же при чугунныхъ трубахъ; соединенія, конечно, всѣ раструбныя.

§ 112. Къ числу фасонныхъ частей слѣдуетъ, собственно говоря, отнести, по существу, и тѣ детали, которыя не только дозволяютъ безпрепятственное теченіе жидкости, но позволяютъ, по временамъ, и измѣнять скорость этого теченія, а иногда и совсѣмъ его останавливаютъ. Таковы: заслонки, задвижки, вентили или клапаны, краны. Иногда же подобныя детали, вставленныя въ трубопроводъ, выполняютъ и болѣе сложныя задачи, напр.: измѣняютъ *давленіе* жидкости (редукціонные клапаны), *отдѣляютъ паръ отъ воды* (водоотдѣлители или паросушители), отдѣляютъ *масло отъ пара*, отводятъ *конденсаціонную воду* и пр. Всѣ эти детали можно назвать арматурой или принадлежностями трубопроводовъ, но разсмотрѣніе ихъ здѣсь завело бы насъ слишкомъ далеко. Мы ограничимся лишь нѣкоторыми замѣчаніями относительно прочности стѣнокъ подобныхъ аппаратовъ, такъ какъ она обусловливается тѣми же почти соображеніями, какъ и въ простыхъ фасонныхъ частяхъ или простыхъ сосудахъ. Изъ многочисленныхъ типовъ арматуры мы здѣсь поговоримъ лишь о паропускныхъ (и подобныхъ имъ) вентиляхъ, поломки которыхъ наблюдаются весьма часто.



Чер. 246.

Тѣла или корпуса вентилей и задвижекъ, употребляемыхъ на водопроводахъ, паропроводахъ и т. п. (а также тѣла многихъ другихъ подобныхъ аппаратовъ, какъ-то: обратныхъ, предохранительныхъ и др. вентилей), имѣютъ всегда довольно сложную форму и опредѣленіе съ достаточною точностію наибольшаго напряженія въ стѣнкахъ такихъ вентилей *теоретически сдѣлано быть не можетъ*, какъ и для другихъ фасонныхъ частей. Поэтому, при конструированіи подобныхъ деталей степень надежности, съ которою работаютъ стѣнки ихъ, бываетъ весьма неопредѣленна и зависитъ отъ опытности завода, отъ его добросовѣстности и пр. Благодаря этому случаевъ поломокъ или взрывовъ паровыхъ вентилей въ практикѣ весьма много. Изъ данныхъ статистики, которая ведется въ Англіи взрывамъ паропускныхъ вентилей и вообще всякихъ вентилей на паропроводахъ (таковые взрывы, подобно взрывамъ паропроводовъ, причислены къ взрывамъ паровыхъ котловъ, о которыхъ печатаются отчеты Board of Trade), можно вывести нѣкоторыя указанія, весьма полезныя для будущаго конструктора. Указанія эти очень важны именно для проектированія *паро*проводовъ, такъ какъ условія работы этихъ послѣднихъ значительно отличаются отъ условій работы водо- и газопроводовъ. Именно, въ паропроводахъ весьма часто наблюдаются сильные водяные удары, и поэтому здѣсь, за отсутствіемъ теоретическихъ данныхъ, указанія практики весьма важны.



Чер. 247.

Результатъ, къ которому приводитъ упомянутая статистика, состоитъ въ томъ, что огромное число всѣхъ работающихъ вентилей и подобныхъ частей исполняется въ практикѣ съ надежностію *значительно меньшею*, нежели сами трубы. Въ массѣ указанныхъ ниже случаевъ непосредственною причиною взрывовъ является водяной ударъ, который обрушивается и на трубопроводъ, и на вставленный въ него вентиль; и вотъ, несмотря на то, что во многихъ случаяхъ паропроводъ былъ чугунный (не говоря уже о желѣзномъ), поломкѣ подвергаются не сами трубы, а именно вентиль! Изъ этого ясно, что сложное тѣло вентиля, хотя стѣнки его часто бываютъ и толще, нежели стѣнки трубопровода, подвергается въ извѣстныхъ своихъ сѣченіяхъ (или точкахъ) такимъ значительнымъ напряженіямъ, что степень надежности его оказывается гораздо ниже, нежели таковая же самого трубопровода — и вентиль ломается! Этому помогаетъ обыкновенно и то обстоятельство, что вентиль находится въ концѣ пространства, занятаго водою, и въ него, какъ въ послѣдній упоръ, бьетъ при водяномъ ударѣ несущаяся стремительно масса воды.

Приводимыя ниже краткія свѣденія о взрывахъ вентилей (въ Англіи) показываютъ, что главными причинами слабости тѣла вентиля могутъ быть слѣдующія:

I). Слишкомъ *малая толщина стѣнокъ* вентиля, недостаточная для надежнаго сопротивленія даже обычному статическому давленію.

II). Слишкомъ *сложная форма корпуса* или *коробки* вентиля, обусловливающая появленіе большихъ добавочныхъ напряженій при отливкѣ и появленіе добавочныхъ напряженій отъ изгиба и пр. во время работы.

III). Появленіе значительныхъ напряженій на изгибъ вслѣдствіе слишкомъ *рѣзкихъ переходовъ* отъ тѣла къ флянцамъ, съ малыми закругленіями въ мѣстѣ перехода, и вмѣстѣ съ тѣмъ излишне большая ширина флянца и излишне большое отнесеніе болтовъ отъ стѣнки, благодаря чему увеличивается моментъ изгиба, передающійся на стѣнку (см. стр. 117). Объ этой причинѣ, въ виду ея важности, мы еще поговоримъ впослѣдствіи.

IV). *Неподходящій матеріалъ* или *дурное качество матеріала*. При современныхъ высокихъ давленіяхъ чугунъ для корпусовъ вентилей является матеріаломъ мало пригоднымъ вслѣдствіе своей значительной хрупкости и теперь съ успѣхомъ замѣняется стальнымъ литьемъ и бронзою; эти матеріалы обладаютъ гораздо большей крѣпостію при ударномъ дѣйствіи на нихъ силъ, какъ это видно изъ прекрасныхъ опытовъ Баха, изложенныхъ, напримѣръ, въ Журналѣ Нѣмецкихъ Инженеровъ за 1899 годъ. Объ этомъ сказано будетъ далѣе, въ главѣ о паропроводахъ.

Теперь приведемъ вкратцѣ случаи взрывовъ вентилей, наблюдавшіеся въ Англіи.

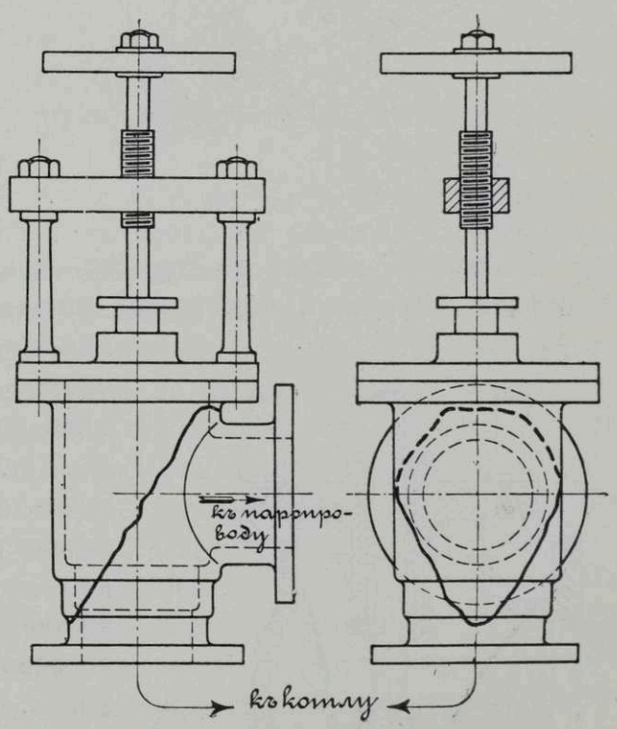
За время съ 1897 по 1910 годъ въ Англіи наблюдалось болѣе 50 взрывовъ вентилей, преимущественно паропускныхъ. Причиною почти вездѣ является водяной ударъ, происходящій вслѣдствіе того, что, передъ открытіемъ вентиля и пускомъ пара, трубы не были вполнѣ дренированы, т. е. освобождены отъ воды; такое задерживаніе воды происходило или вслѣдствіе неразумнаго расположенія трубъ, при которомъ въ карманахъ и низкихъ мѣстахъ задерживается вода, или вслѣдствіе небрежности машинистовъ и кочегаровъ.

Нумера въ дальнѣйшемъ означаютъ нумера отчетовъ Board of Trade, такіе же, какіе мы уже имѣли въ главѣ о мѣдныхъ трубахъ.

Случаи взрывовъ и поломокъ вентилей по отчетамъ Board of Trade.

№ 995.—Взрывъ дроссельнаго клапана; діаметръ корпуса—23½ дюйма; вырваны бокъ и передъ и унесена часть трубы длиною въ 44 фута. Тяжело ранено три человѣка. Причина—водяной ударъ.

№ 1003. — Поломка чугуннаго паропускного вентиля вслѣдствіе столкновенія судна со стѣнкою дока; котелъ съѣхалъ съ мѣста на 1 дюймъ (единственной задержкой для котла служило деревянное полѣно!) и сломалъ вентиль. Вентиль не имѣлъ реберъ между флянцами и корпусомъ и толщина стѣнки была всего ½ дюйма. Два механика убито на смерть.

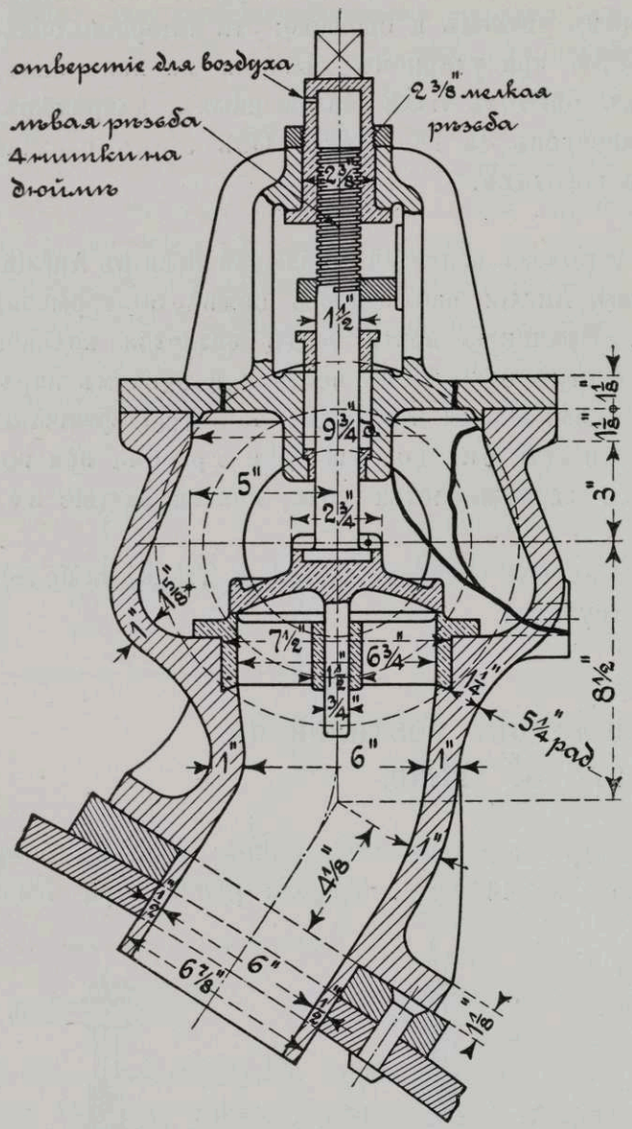


Чер. 248.

№ 1072.—Сложная коробка съ пятью вѣтвями и тремя паропускными вентилями сломалась вслѣдствіе водяного удара. Внутренней причиною взрыва надо считать напряженія при отливкѣ сложной формы коробки.

№ 1089.—Паропроводъ не имѣлъ никакихъ приспособленій для дренажа (спуска воды) и никакой изоляціи трубъ непроводящей массою. Произошелъ водяной ударъ и чугунный паропускной вентиль разорвало, какъ показано на чер. 248. Кочегаръ, услышавъ шумъ въ трубѣ, когда онъ началъ отвертывать вентиль, успѣлъ отбѣжать на нѣсколько аршинъ и не пострадалъ (истинно — счастливецъ!!). Характерно направленіе излома.

№ 1109.—Паропускной чугунный вентиль, діаметръ корпуса — 15 дюймовъ, толщина стѣнки—1 дюймъ, взорванъ отъ водяного удара такъ, какъ показано на чер. 249. Матеріалъ найденъ здоровымъ. Вентиль выдержалъ пробное гидравлическое давленіе въ 400 фунтовъ/□ дюймъ; рабочее давленіе — 160 фунтовъ. Одинъ кочегаръ убитъ, другой тяжело раненъ.



Чер. 249.

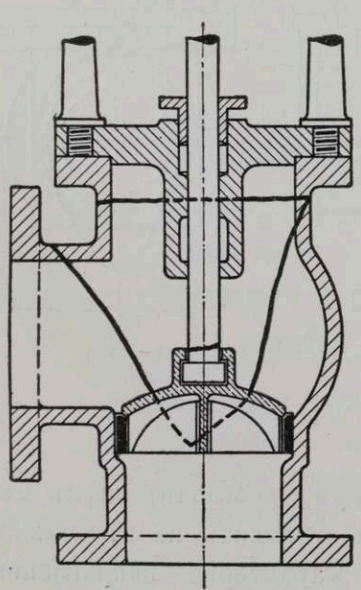
№ 1162.—Взрывъ паропускного вентиля, повидимому вслѣдствіе водяного удара. Характерное разрушеніе—верхняя крышка оторвана какъ разъ надъ флянцемъ (примѣры такихъ случаевъ съ чертежами будутъ далѣе). Одинъ рабочій убитъ, трое ранено.

№ 1177.—Дроссельный клапанъ на пароходѣ сломался возлѣ флянца отъ недостаточной свободы расширенія трубъ.

№ 1230.—Чугунный паропускной вентиль, прочной конструкціи, усиленный солидными ребрами, сломался вслѣдствіе старой трещины и вибрацій судна. Назначенъ для давленія въ 200 фунтовъ. Корпусъ вентиля оторвало кругомъ отъ штуцера, соединеннаго съ паровой трубой (чугунъ не годится для такого давленія).

№ 1252.—Паропускной вентиль взорванъ отъ водяного удара. Рабочее давленіе 100 фунтовъ; толщина стѣнки меньше $^{9}/_{16}$ дюйма, что̀ недостаточно. Вентиль работалъ уже 16 лѣтъ. Изломъ показанъ на чер. 250. Крышку унесло сквозь потолокъ. Убитъ кочегаръ.

№ 1263.—Чугунный паропускной вентиль старинной конструкціи, чер. 251. Наружный діаметръ цилиндра—11 дюймовъ, толщина—$^{3}/_{4}$ дюйма. Вентиль взорвался вслѣдствіе водяного удара; толщина стѣнки мѣстами оказалась всего лишь отъ $^{1}/_{8}$ до $^{1}/_{4}$ дюйма (вслѣдствіе сноса стержня при отливкѣ). Одинъ человѣкъ тяжело раненъ. Разрывъ тѣла очень характеренъ, о чемъ будетъ рѣчь далѣе.



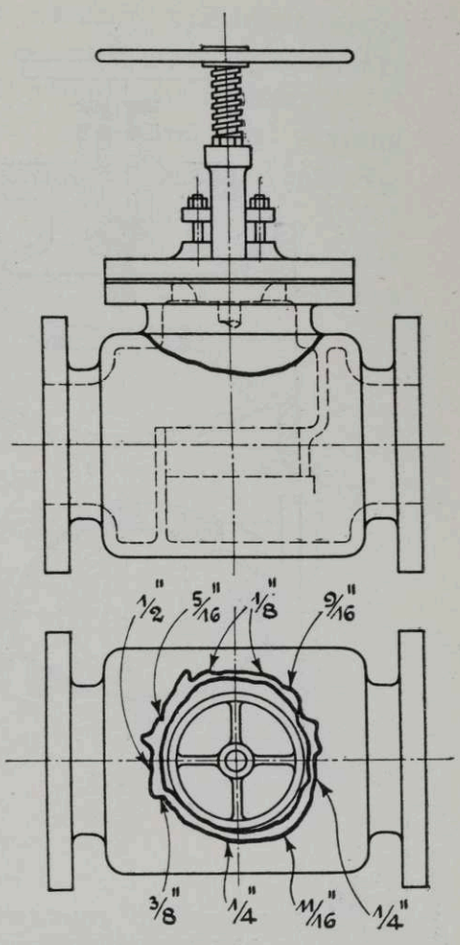
Чер. 250.

№ 1264.—Чугунный паропускной вентиль разорванъ вѣроятно вслѣдствіе водяного удара. Діаметръ сѣдла — 5 дюймовъ, толщина стѣнокъ корпуса—отъ $^{11}/_{16}$ до $^{7}/_{8}$ дюйма. Изломъ виденъ на чер. 252. Причиною слабости корпуса являются крайне нераціональныя съ рѣзкими углами выемки *v*, *v* для пропуска ушковъ сѣдла. Одинъ человѣкъ убитъ и одинъ раненъ. Это единственный примѣръ разрыва цилиндрическаго корпуса по образующей, а не поперекъ, подъ флянцемъ. Присутствіе реберъ, несомнѣнно, способствовало тому, что флянецъ не былъ оторванъ.

У второй такой же, цѣлой, коробки, нарочно подвергнутой разрушенію гидравлическимъ давленіемъ, лопнулъ тоже горизонтальный патрубокъ по линіи, проходящей черезъ уголъ выемки v и совпадающей съ образующею этого горизонтальнаго патрубка, т. е. коробка лопнула примѣрно такъ же, какъ и взорванная коробка.

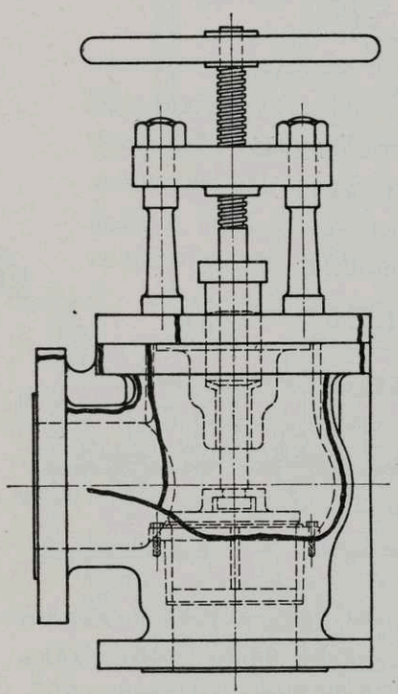
№ 1282. — Чугунный паропускной вентиль взорванъ вслѣдствіе водяного удара. Толщина стѣнокъ слишкомъ мала (чер. 253). Давленіе во время взрыва было 45 фунтовъ. Оторвана верхняя часть вентиля (чер. 253) и убитъ кочегаръ, открывавшій этотъ вентиль.

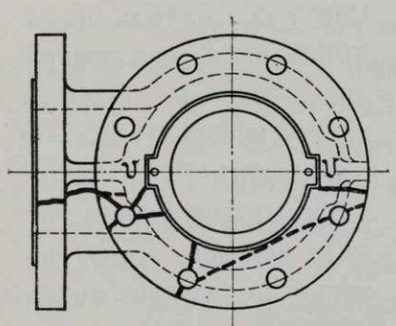
№ 1283.—Разрывъ чугуннаго корпуса изолирующаго (предохранительнаго отъ опорожненія всѣхъ котловъ) вентиля. Причины—водяной ударъ и плохой матеріалъ (чугунъ содержитъ болѣе 1,25% фосфора).



Чер. 251.

№ 1295.—Паропускной вентиль, изъ здороваго матеріала и съ достаточною толщиною стѣнокъ, взорвало отъ водяного удара. Изломъ виденъ на чер. 254, а расположеніе трубъ — на чер. 255. Оно неправильно, такъ какъ вода не можетъ уйти вслѣдствіе одного своего вѣса и будетъ задерживаться, ибо часть трубъ возлѣ колѣна у котла ниже части трубъ возлѣ цилиндра примѣрно дюйма на 4 или на 5.

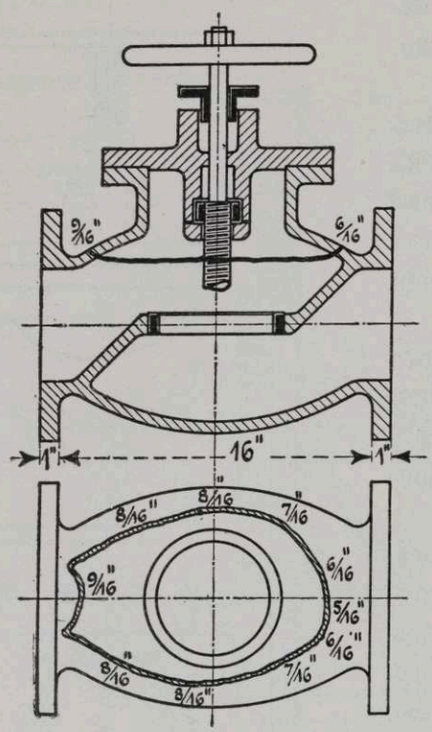



Чер. 252.

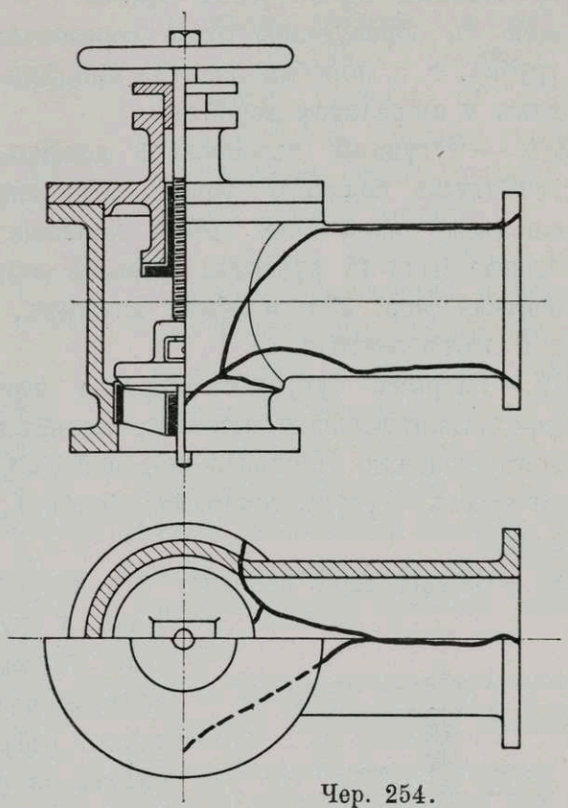
№ 1354.—Случай этотъ хотя и не имѣетъ непосредственнаго отношенія къ прочности стѣнокъ корпуса, но чрезвычайно интересенъ и поучителенъ. Коробка предохранительнаго клапана котла, чер. 256, содержала въ себѣ коническое сѣдло k, попросту забитое въ нее наконусъ и ничѣмъ не задержанное отъ выпирающей силы давленія пара на нижній торецъ его и на проекцію наружной конической поверхности (въ случаѣ, если бы сѣдло ослабло). Случилось такъ, что сѣдло дѣйствительно ослабло, паръ сталъ проникать вокругъ него и въ результатѣ сѣдло было выброшено давленіемъ вонъ. А такъ какъ, для невозможности кочегару подкладывать клинушекъ подъ упорку вилки, обнимающей рычаги, вилка была сдѣлана вверху, при a, открытой, то рычагъ подкинуло и сѣдло съ клапаномъ вылетѣли вовсе вонъ и убили человѣка. Давленіе въ котлѣ было равно 50 фунтамъ, а по расчету оказалось, что давленія въ 35,5 фунтовъ уже было достаточно для того, чтобы выкинуть сѣдло. Этотъ урокъ весьма поучителенъ. Замѣтимъ еще, что уклонъ наружнаго конуса сѣдла былъ слишкомъ великъ (отчего оно и ослабло), именно 1 : 5.

Библиотека Научно-технический кружок.

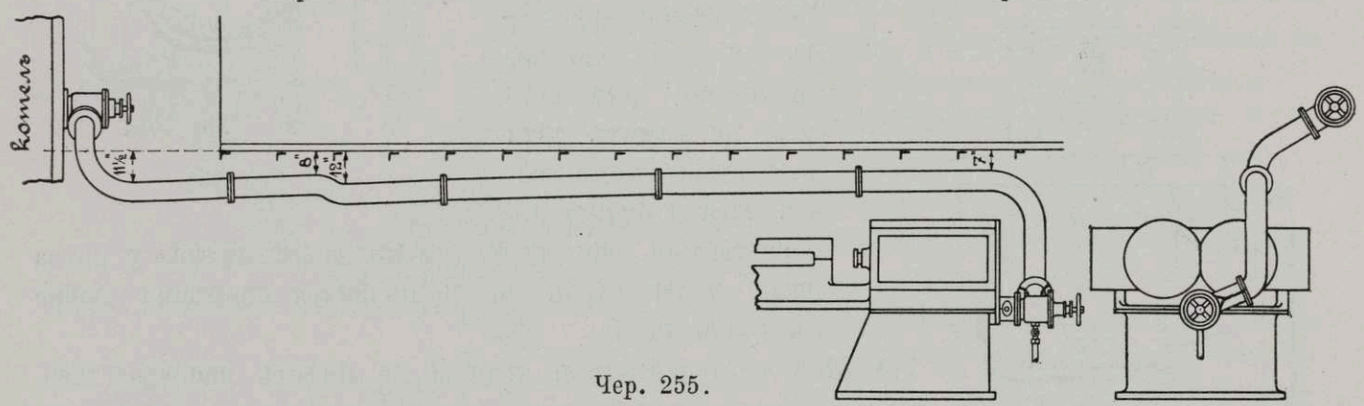
№ 1378.—Совершенно подобный же случай, но въ обратномъ, такъ сказать, направленіи. Сѣдло питательнаго клапана оказалось пористымъ и было замѣнено новымъ,



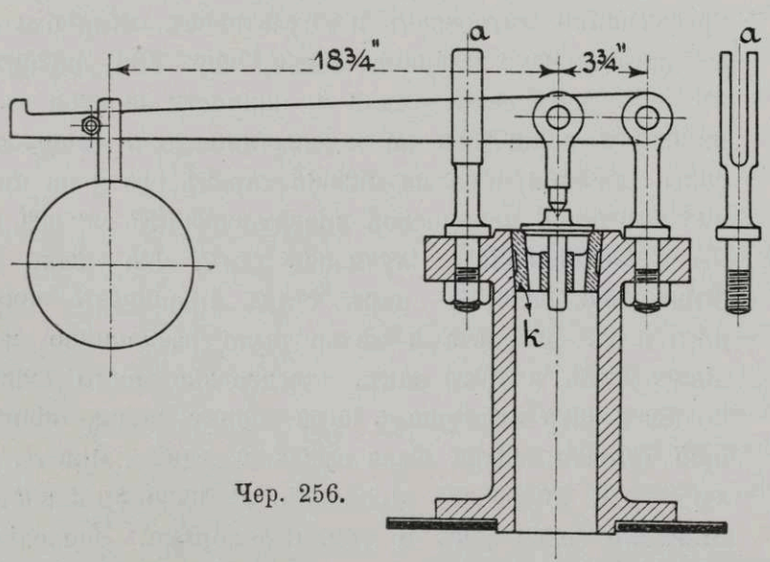
Чер. 253.



Чер. 254.



Чер. 255.



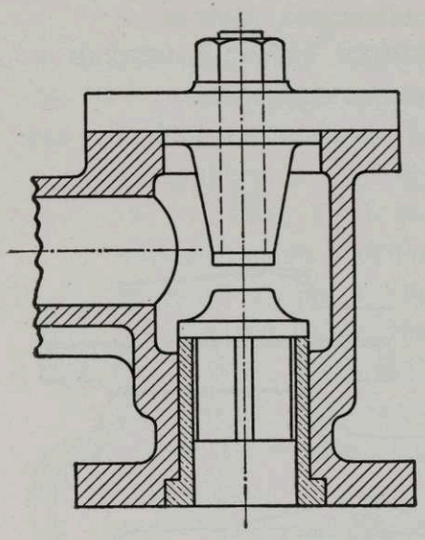
Чер. 256.

которое вставили въ коробку снизу, такъ, какъ показано на чер. 257. Снизу его ничѣмъ не закрѣпили, и оно упиралось лишь во флянецъ трубы, привернутой снизу къ коробкѣ. Разъ какъ то „для очистки флянца“ отняли нижнюю трубу; натурально, сѣдло моментально давленіемъ пара выбросило вонъ, внизъ, и тяжело ранило механика.

№ 1386.—Цилиндрическій корпусъ чугунной коробки предохранительнаго клапана лопнулъ поперекъ (вѣроятно вслѣдствіе сильныхъ сотрясеній при работѣ подъема краномъ дымовой трубы), какъ показано на чер. 258.

№ 1390.—Чугунный корпусъ паропускного вентиля разорванъ вслѣдствіе водяного удара. Давленіе въ котлѣ — 180 фунтовъ.

№ 1394. — Корпусъ коробки предохранительнаго клапана сломанъ вслѣдствіе того, что она была уперта въ желѣзную перегородку, т. е. отъ недостаточной свободы расширенія.

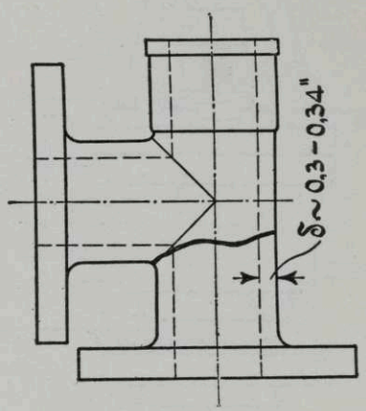


Чер. 257.

№ 1397.—Вслѣдствіе водяного удара оторвана верхняя часть корпуса паропускного вентиля, чер. 259. Чугунъ оказался пористымъ, губчатымъ.

№ 1398.—Корпусъ вентиля, построеннаго для давленія въ 215 фунтовъ, разорванъ водянымъ ударомъ при давленіи всего въ 60—70 фунтовъ.

№ 1404.—Чугунный паропускной вентиль сломанъ возлѣ флянца, несмотря на присутствіе реберъ, вслѣдствіе недостаточной свободы расширенія, чер. 260. Труба *B* идетъ отъ пароходнаго котла *A* къ другому, стоящему позади его, и оконечности ея лежатъ въ скользящихъ расширителяхъ; раструбъ расширителя *S* образуетъ часть тройника, свернутаго съ вентилемъ *W*. Вслѣдствіе небрежнаго ухода расширители перестали дѣйствовать и сила расширенія трубки *B*, дѣйствуя относительно мѣста излома съ плечомъ около 400 миллиметровъ, произвела изломъ.



Чер. 258.

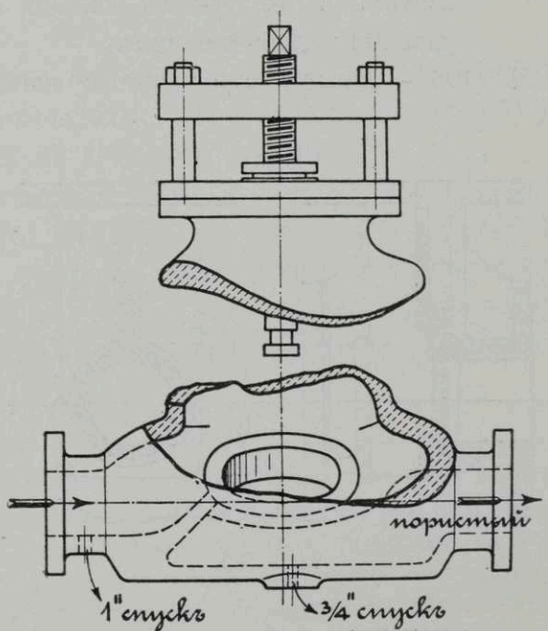
№ 1437.—Чугунный паропускной вентиль разорванъ вслѣдствіе водяного удара.

№ 1465.—Взрывъ двухъ чугунныхъ тройниковъ вслѣдствіе водяного удара.

№ 1471.—Взрывъ чугуннаго паропускного вентиля отъ водяного удара.

№ 1476.—Оторвана крышка чугуннаго паропускного вентиля вслѣдствіе водяного удара; кочегаръ сильно обожженъ.

№ 1494.—Чугунный изолирующій клапанъ былъ опробованъ гидравлическимъ давленіемъ въ 500 фунтовъ и паромъ—на 300 фунтовъ. Корпусъ коробки этого клапана былъ взорванъ, и именно была оторвана часть ея, образующая флянецъ, поперекъ, чер. 261. Одинъ человѣкъ сваренъ на смерть. Причина—невѣрная установка и свертываніе флянцевъ и, вѣроятно, осадка котловъ и зданія.



Чер. 259.

№ 1511.—Взрывъ паропускного вентиля вслѣдствіе водяного удара. Убитъ машинистъ, открывавшій вентиль.

№ 1523.—Взрывъ чугуннаго паропускного вентиля вслѣдствіе водяного удара.

№ 1533.—Изломъ чугунной задвижки на питательной трубѣ, чер. 262, вслѣдствіе перекоса флянцевъ (въ нижней части флянцы расходились примѣрно на 5 mm, а въ верхней прикасались) и старой трещины.

№ 1554.—Взрывъ паропускного вентиля вслѣдствіе водяного удара; одинъ человѣкъ убитъ.

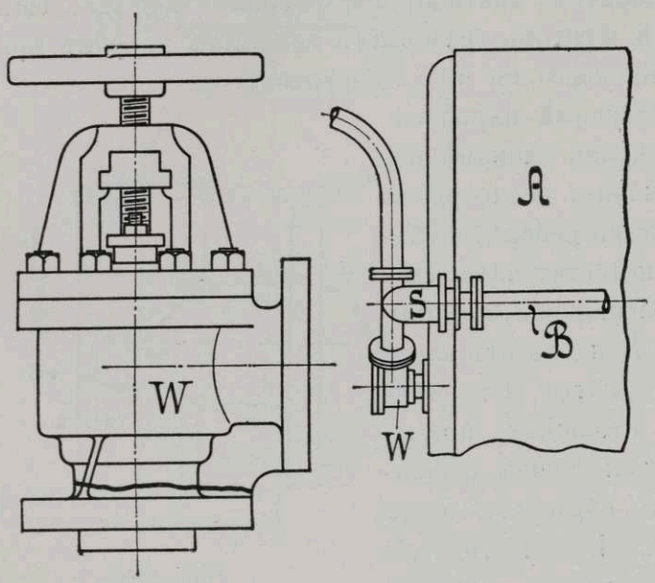
№ 1560.—Взрывъ паропускного вентиля отъ водяного удара.

№ 1568.—Изломъ паропускного вентиля, повидимому отъ недостаточной свободы расширенія трубъ. Машинистъ убитъ.

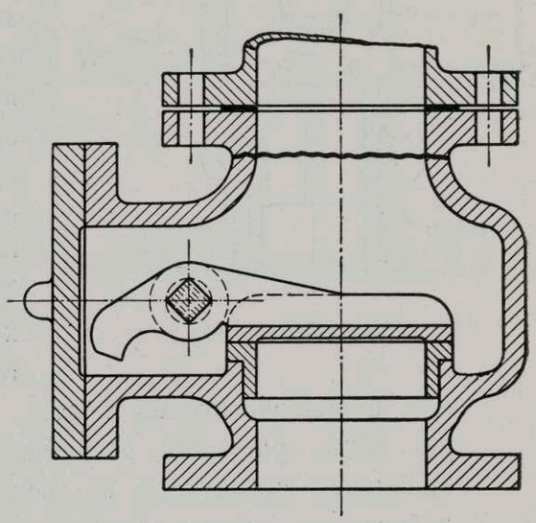
№ 1571.—Паропускной вентиль взорвался вслѣдствіе водяного удара; изломъ показанъ на чер. 263. Два кочегара ранено.

№ 1572.—Паропускной вентиль разорвался вслѣдствіе сильныхъ вибрацій машины на суднѣ, которая бросалась, такъ какъ судно шло съ малымъ грузомъ.

№ 1603.—Чугунный паропускной вентиль, новый, всего 6 недѣль въ работѣ, сло-



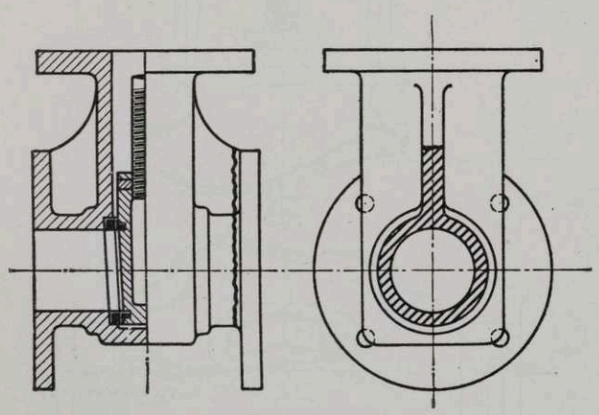
Чер. 260.



Чер. 261.

мался вслѣдствіе водяного удара. Излому способствовало нераціональное расположеніе прокладки на фланцѣ; именно, вся прокладка лежитъ *внутри* болтового круга, вслѣдствіе чего при затяжкѣ болтовъ развиваются большія напряженія на изгибъ, а въ такомъ сильно напряженномъ состояніи чугунъ легко уступаетъ ударному дѣйствію силъ.

№ 1606.—Взрывъ паропускного вентиля вслѣдствіе плохой отливки; толщина стѣнокъ, вмѣсто предположенной $^3/_4$ дюйма, была всего отъ $^{31}/_{64}$ до $^{11}/_{16}$, вслѣдствіе сноса стержня. Гидравлической пробѣ корпусъ подвергнутъ не былъ.



Чер. 262.

№ 1617. Взрывъ тройника и продувного клапана вслѣдствіе водяного удара; одинъ кочегаръ убитъ.

№ 1619.—Взрывъ автоматическаго запорнаго вентиля „Tate“ на временномъ паропроводѣ къ вновь поставленной паровой турбинѣ; причина—водяной ударъ. Убиты — директоръ фабрики и другъ его, зашедшій „изъ любопытства“ посмотрѣть турбину, а также убитъ и механикъ фабрики *.

№ 1622.—Взрывъ паропускного вентиля вслѣдствіе водяного удара.

№ 1646.—Взрывъ чугуннаго паропускного вентиля отъ водяного удара. Оторвало корпусъ отъ фланца, привернутаго къ трубѣ, возлѣ самаго фланца а также оторвана

---

* Случай этотъ лишній разъ показываетъ, какой о п а с н о с т и подвергается *всякій*, приближающійся съ тою или иною цѣлію къ машинамъ и вообще сооруженіямъ техники. Всякій техникъ подвергается все время нахожденія своего возлѣ работающихъ машинъ и пр. извѣстной долѣ опасно-

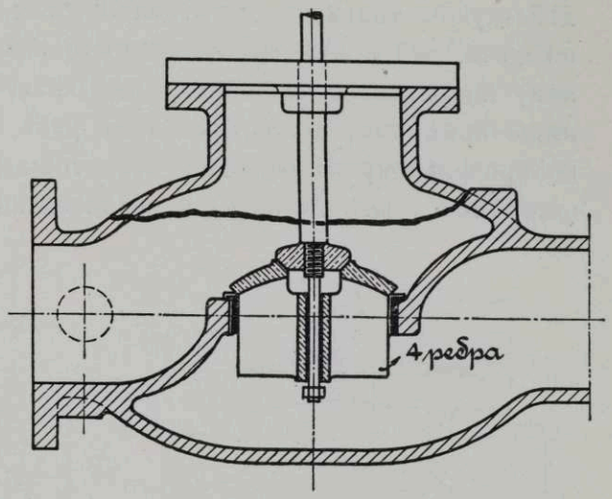
крышка съ флянцемъ корпуса, къ которому она привернута. Вентиль былъ испробованъ гидравлическимъ давленіемъ въ 300 фунтовъ.

№ 1658. — Взрывъ корпуса паропускного вентиля вслѣдствіе водяного удара.

№ 1659. — Изломъ корпуса предохранительнаго клапана поперекъ, возлѣ флянца, вслѣдствіе неправильной работы сложнаго (двойного) клапана; одинъ человѣкъ убитъ.

№ 1669.—Задвижка паропускная изломана возлѣ флянца, подобно тому, какъ и на чер. 262. Причина—вѣроятно водяной ударъ. Была опробована гидравлическимъ давленіемъ на 300 фунтовъ.

№№ 1677, 1678, 1717 и 1727. — Взрывы паропускныхъ чугунныхъ вентилей отъ водяного удара. Въ послѣднемъ случаѣ трое людей слегка ранено.



Чер. 263.

№№ 1700, 1738, 1747 и 1783.—Взрывы паропускныхъ вентилей отъ водяного удара. Въ первомъ случаѣ убитъ одинъ человѣкъ.

№ 1796. — Взрывъ паропускного вентиля вслѣдствіе слабой конструкціи; толщина стѣнокъ всего отъ $^3/_8$ до $^5/_8$ дюйма, рабочее давленіе—80 фунтовъ/□ дюймъ; діаметръ вентиля—$6^1/_2$ дюймовъ.

№ 1813.—Взрывъ корпуса питательнаго клапана, по всей вѣроятности вслѣдствіе водяного удара, шедшаго *изъ котла*, въ которомъ уровень воды упалъ ниже оконечности внутренней питательной трубки. Изломъ — по окружности, возлѣ флянца.

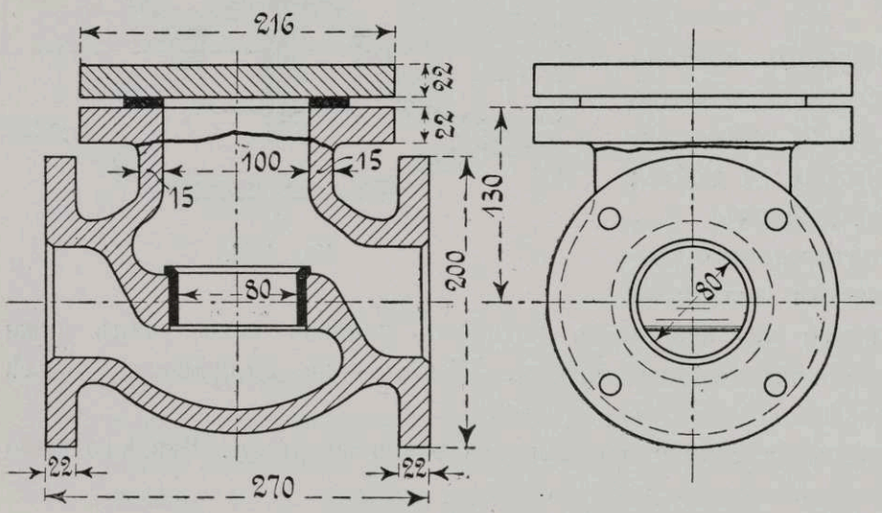
№ 1815.—Взрывъ чугуннаго паропускного вентиля отъ водяного удара. Вентилю было 20 лѣтъ.

Взрывовъ, подобныхъ описаннымъ сейчасъ Англійскимъ, много и въ другихъ странахъ, но только они не попадаютъ, къ сожалѣнію, на страницы техническихъ журналовъ. Приведемъ одинъ примѣръ, попавшій въ Нѣмецкій журналъ.

У чугуннаго обратнаго клапана на питательной трубѣ котла оторвало крышку возлѣ флянца такъ, какъ показано на чер. 264. Давленіе въ котлѣ — 8 атмосферъ. Матеріалъ въ мѣстѣ излома оказался плохимъ, и кромѣ того авторъ замѣтки, инженеръ Баденскаго Общества надзора за котлами, находитъ, что подобный вентиль необходимо долженъ былъ бы быть усиленъ ребрами, соединяющими флянцы съ корпусомъ.

сти, подобно врачу среди заразныхъ больныхъ, караульному на посту и т. п. Точно такъ же и публика, среди которой, по условіямъ современной жизни, часто разгуливаютъ и работаютъ машины и котлы, содержащіе такіе запасы энергіи, что ихъ можно сравнить съ пороховыми складами (паровозы на станціяхъ, котлы и машины пассажирскихъ пароходовъ, аэропланы и пр.), рискуетъ всегда пострадать, и это налагаетъ на каждаго техника, конструирующаго или ухаживающаго за машинами, обязанность— соблюдать всю возможную осторожность и напрягать всѣ свои знанія и вниманіе для того, чтобы, если не абсолютно устранить опасность (что невозможно), то, по крайней мѣрѣ, свести ее къ наименьшей достижимой при современномъ состояніи техники величинѣ. Обстоятельство это часто забываютъ и въ практикѣ и въ технической школѣ, гдѣ иногда, какъ это повидимому имѣетъ мѣсто въ настоящее время, увлекаются вопросами новостей техники, новыми типами машинъ (какъ сейчасъ паровыми турбинами, „Дизелями“, автомобилями, аэропланами), вопросами денежной экономіи и пр., т. е. преимущественно интересами владѣльца, и оставляютъ въ пренебреженіи вопросы безопасности рабочаго персонала и публики. Въ высшихъ техническихъ школахъ вопросамъ этого послѣдняго рода обыкновенно удѣляютъ слишкомъ мало времени.

§ 113. Изъ всѣхъ приведенныхъ сейчасъ примѣровъ особаго вниманія заслуживаютъ тѣ случаи изломовъ корпусовъ, гдѣ изломъ происходилъ не вдоль корпуса, а *поперекъ*, и почти всегда возлѣ самаго флянца. Эти случаи, въ особенности при корпусахъ цилиндрической формы (или близкой къ ней), являются въ высшей степени поучительными. Въ самомъ дѣлѣ, мы знаемъ, что въ закрытой цилиндрической трубѣ, если въ стѣнкахъ ея нѣтъ вызванныхъ какими либо причинами сгибающихъ моментовъ, а есть только напряженія на разрывъ давленіемъ жидкости на днища и на цилиндрическія стѣнки, напряженіе по продольному направленію вдвое больше (приблизительно), нежели по поперечному. Такимъ образомъ, если считать, что и въ корпусахъ вентилей дѣйствуютъ только растягивающія силы, а нѣтъ изгибающихъ моментовъ, то мы должны ожидать, что и въ дѣйствительности всѣ корпуса вентилей должны рваться по продольному направленію (по образующей) или по близкому къ нему. Но изъ приведенныхъ выше примѣровъ мы видимъ какъ разъ совершенно обратное: почти нѣтъ разрывовъ по продольному направленію, нѣкоторые разрывы происходятъ по косому направленію (какъ въ случаѣ № 1089) и значительное число изломовъ происходитъ именно по поперечному направленію, да притомъ еще и возлѣ флянца. Это то обстоятельство и заслуживаетъ вниманія. Изъ него слѣдуетъ безспорно, что въ стѣнкахъ корпусовъ вентилей, кромѣ напряженій на разрывъ, на которыя многіе конструкторы склонны расчитывать (и, вѣроятно, и расчитываютъ) стѣнки, существуютъ еще весьма значительныя напряженія на *изгибъ*, и притомъ весьма опредѣленнаго характера и въ весьма опредѣленномъ и рѣзко выраженномъ мѣстѣ; именно, опасное мѣсто лежитъ по **окружности**, по поперечному направленію, и *возлѣ флянца*. Это показываетъ намъ, что значительные сгибающіе моменты вызываются здѣсь присутствіемъ флянца и связанныхъ съ нимъ болтовъ и прокладокъ. Очевидно, что силы, дѣйствующія по болтамъ, и давленіе прокладки вызываютъ здѣсь въ части корпуса, ближайшей къ флянцу, весьма значительныя напряженія на изгибъ. Обстоятельство это, впрочемъ, для насъ не ново. Въ главѣ V, на стр. 117, о немъ говорилось подробно, и чер. 78 ясно показываетъ деформацію трубы подъ вліяніемъ изгибающаго дѣйствія на нее флянца. Съ этимъ самымъ обстоятельствомъ, но лишь въ весьма сильной степени, мы и имѣемъ мѣсто при изломахъ корпусовъ вентилей, на что указываютъ мѣстами и Инспектора Board of Trade.

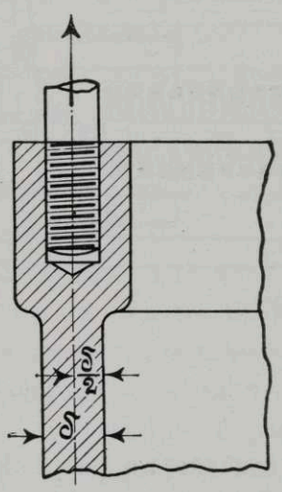


Чер. 264.

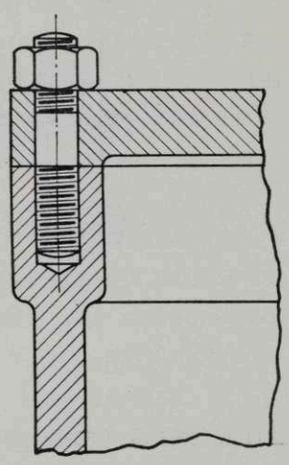
Для того, чтобы по возможности ослабить это изгибающее вліяніе флянцеваго соединенія, слѣдуетъ держаться правила, указаннаго тоже раньше, именно, *необходимо ставить болты возможно ближе къ стѣнкѣ трубы или корпуса* и избѣгать прокладокъ въ видѣ круглаго кольца или узкой кольцевой ленты, а въ особенности не ставить такихъ колецъ *внутри* круга, образуемаго болтами; прокладка должна быть широкою и занимать всю ширину флянца, которую тоже безъ нужды не слѣдуетъ раздувать. Самой лучшей въ этомъ смыслѣ конструкціей была бы такая, при которой болты *вовсе не даютъ момента, изгибающаго стѣнку*. Для достиженія этой цѣли слѣдовало бы болты расположить такъ, какъ показано на чер. 265, т. е. выполнить болты въ видѣ шпилекъ и расположить оси этихъ шпилекъ на поверхности цилиндра, которая

дѣлитъ толщину стѣнки трубы или коробки пополамъ. Такая конструкція является, разумѣется, невозможною тамъ, гдѣ соединяются двѣ трубы, такъ какъ обѣ трубы не могутъ имѣть подобныхъ шпилекъ и хоть одна труба да должна будетъ имѣть фланецъ и, слѣдовательно, эта труба подвергнется изгибу отъ существованія фланца. Но въ томъ случаѣ, когда, напримѣръ, отверстіе или конецъ трубы закрывается крышкою, какъ это имѣетъ мѣсто при закрытіи крышкою корпуса вентиля и пр., подобная конструкція можетъ быть осуществлена и въ этомъ случаѣ корпусъ вентиля никакимъ изгибающимъ моментамъ отъ силы, дѣйствующей по болтамъ, не подвергнется, чер. 266 *. Было бы весьма желательно, чтобы такая указываемая мною конструкція была осуществлена въ практикѣ и испытана въ механической лабораторіи параллельно съ обычнымъ соединеніемъ на флянцахъ.

Слѣдуетъ сказать, что такая конструкція (причемъ конструкторъ, можетъ быть, и не представлялъ себѣ полностію того значенія, которое выбранное имъ расположеніе болтовъ можетъ имѣть при построеніи вентилей и т. п.) осуществлена была въ сальникахъ; въ книгѣ Баха „Детали Машинъ“ на стр. 750 (изданіе 10-е) имѣется чертежъ именно такого расположенія болтовъ, хотя о значеніи его ни слова не говорится, и, повидимому, надо предполагать, что истинный смыслъ такой конструкціи остался незамѣченнымъ ни конструкторомъ, ни авторомъ названной книги.



Чер. 265.


Чер. 266.

Это обстоятельство нѣсколько странно, такъ какъ самъ Бахъ произвелъ въ высшей степени поучительные опыты съ разрывами тѣлъ вентилей, вполнѣ подтверждающіе то, что̀ сказано сейчасъ объ изгибающемъ дѣйствіи болтовъ на стѣнки. Въ Журналѣ Нѣмецкихъ Инженеровъ, 1899 годъ, № 13, имѣются два очень интересныхъ опыта Баха, при которыхъ разрушенію подвергались тѣла яйцевидныхъ паропускныхъ вентилей.

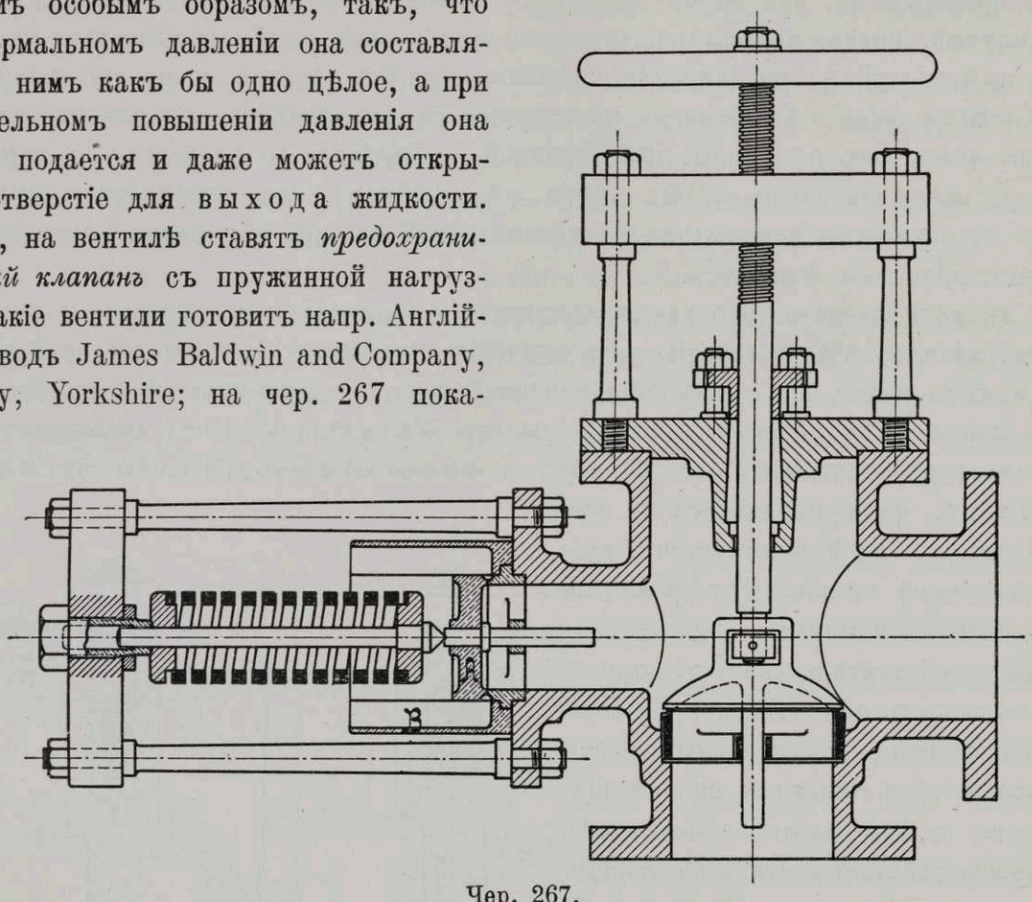
У вентиля съ діаметромъ трубы въ 300 mm закрытый крышкой патрубокъ лопнулъ возлѣ флянца при давленіи, которое даетъ въ мѣстѣ разрушенія напряженіе на чистый разрывъ всего лишь въ 1,77 kg/□mm, а у вентиля съ діаметромъ трубы въ 200 mm такой же изломъ произошелъ при напряженіи на чистый разрывъ равномъ всего 2,62 kg/□mm. Изъ этого видно, насколько велико вліяніе изгиба, если вентили лопаются при такомъ напряженіи на разрывъ, которое можно бы считать за допускаемое; между тѣмъ, оно является разрушающимъ. Подробности см. въ названномъ журналѣ.

Изъ приведенныхъ примѣровъ и изъ соображеній относительно изгибающаго дѣйствія флянцевыхъ соединеній мы можемъ положительно заключить, что большинство стѣнокъ теперешнихъ вентилей слишкомъ тонко, и естественно является заключеніе, что толщину эту слѣдуетъ увеличить. Однако и такое увеличеніе толщины не всегда спасетъ вентиль отъ поломки; именно, оно окажется мало полезнымъ въ случаѣ водянаго удара, а имъ именно и обусловлено большинство поломокъ вентилей. Въ самомъ дѣлѣ, если бы мы стали дѣлать корпуса вентилей и гораздо толще, чѣмъ теперь, все таки едва ли бы они сдѣлались способными выдерживать тѣ громадныя давленія, которыя развиваются при водяномъ ударѣ внутри мало упругихъ трубъ и вентилей; кор-

---

* конечно, если предполагать крышку абсолютно жесткою и не изгибаемою, такъ что давленіе ея на гайки шпилекъ распредѣляется по опорной площади каждой гайки равномѣрно. Въ дѣйствительности прогибъ крышки вызоветъ нѣкоторый сгибающій моментъ и въ стѣнкахъ корпуса.

пусъ вентиля слишкомъ *мало упругъ*, мало податливъ. Естественно является мысль— сдѣлать этотъ корпусъ болѣе податливымъ и въ настоящее время мысль эта осуществлена. Одна изъ стѣнокъ корпуса изготовляется отдѣльно отъ него и соединяется съ нимъ особымъ образомъ, такъ, что при нормальномъ давленіи она составляетъ съ нимъ какъ бы одно цѣлое, а при значительномъ повышеніи давленія она сильно подается и даже можетъ открывать отверстіе для выхода жидкости. Короче, на вентилѣ ставятъ *предохранительный клапанъ* съ пружинной нагрузкой. Такіе вентили готовитъ напр. Англійскій заводъ James Baldwin and Company, Keighley, Yorkshire; на чер. 267 показанъ такой паропускной вентиль въ разрѣзѣ. Это простой вентиль, на которомъ, какъ разъ на продолженіи трубы, поставленъ предохранительный клапанъ, тарелка котораго *A* нагружена сильною спиральною пружиною. Тарелка ходитъ между шестью направляющими ребрами, прилитыми внутри цилиндрической оболочки *B*. Пружина устанавливается такъ, чтобы клапанъ начиналъ подыматься при давленіи, превосходящемъ нормальное процентовъ на 15—25%.



Чер. 267.

ГЛАВА XVI.

Свертываніе флянцевъ сосудовъ и объ устройствѣ сосудовъ вообще.

§ 114. Подъ именемъ трубы, какъ объяснено раньше, мы понимаемъ такое устройство, которое назначено для перетеканія жидкости или газа, пара и т. п., изъ одного сосуда въ другой или, вообще, изъ однихъ сосудовъ въ другіе, такъ что назначеніе трубы состоитъ въ томъ, чтобы по ней или непрерывно, или же періодически, текла съ извѣстной скоростію жидкость (или газъ). Вслѣдствіе такого назначенія, трубы по большей части получаютъ сравнительно незначительное поперечное сѣченіе и значительную длину, которая соотвѣтствуетъ тѣмъ разстояніямъ, на которыя необходимо передвигать по этимъ трубамъ жидкость.

Сосуды же или резервуары служатъ для того, чтобы, для различныхъ техническихъ цѣлей, заключать или сохранять въ себѣ какую нибудь жидкость, паръ или газъ, въ теченіи извѣстнаго времени и по временамъ, или же непрерывно, выпускать изъ себя жидкость въ мѣста ея потребленія и получать ее изъ мѣстъ добыванія, то и другое—при посредствѣ трубъ. Такимъ образомъ, сосуды или резервуары являются для жидкостей или газовъ временной станціей, мѣстомъ передышки, гдѣ жидкость или просто накопляется въ ожиданіи своего расходованія, какъ напр. въ водопроводныхъ резервуарахъ, или же подвергается иногда и нѣкоторымъ механическимъ и даже химическимъ процессамъ, необходимымъ для того, чтобы возможно было двигать ее далѣе. Но главное, что для насъ имѣетъ здѣсь нѣкоторое значеніе, это то обстоятельство, что въ сосудѣ или резервуарѣ жидкость (паръ или газъ) находится, можно сказать, въ состояніи покоя, или же, если и движется, то имѣетъ замѣтную скорость лишь поблизости того мѣста, гдѣ въ резервуаръ входитъ приводная труба или выходитъ изъ него отводная труба; вообще же говоря, скорость жидкости въ сосудѣ можно считать равной нулю, разсматривая его какъ устройство, въ которомъ жидкость находится въ состояніи покоя, такъ что распредѣленіе давленій можно считать имѣющимъ мѣсто по законамъ гидростатики, и это упрощаетъ иногда расчетъ такихъ сосудовъ.

Съ конструктивной точки зрѣнія для насъ здѣсь вопросъ о скоростяхъ имѣетъ мало значенія, и мы займемся изученіемъ сосудовъ или резервуаровъ лишь въ томъ смыслѣ, что это—вмѣстилища, въ большинствѣ случаевъ довольно значительнаго объема, причемъ размѣры ихъ по различнымъ направленіямъ не такъ сильно разнятся другъ отъ друга, какъ въ случаѣ трубъ, и что, въ силу значительнаго объема, вмѣстилища эти обыкновенно не могутъ быть сдѣланы изъ одного сплошного куска матеріала, а должны быть составлены изъ отдѣльныхъ частей, соединенныхъ между собою при соблюденіи совершенно тѣхъ же условій, которыя приходится соблюдать и при устройствѣ трубъ, именно, прежде всего—прочности и герметичности, а затѣмъ и всѣхъ тѣхъ другихъ разнообразныхъ соображеній, которымъ подчиняется конструированіе всякой технической вещи.

Части сосудовъ или резервуаровъ соединяются между собою почти исключительно *на флянцахъ*, такъ какъ устройство раструбныхъ соединеній было бы здѣсь неудобно и безполезно, ибо отъ резервуаровъ возможности удобоподвижности ихъ частей не требуется. Иногда части резервуаровъ соединяются между собою при помощи склепыванія, но такіе сосуды составляютъ въ техникѣ настолько важный классъ, преимущественно въ видѣ котловъ, что его разсматриваютъ отдѣльно въ курсѣ деталей машинъ, въ отдѣлѣ о клепаныхъ устройствахъ, и поэтому мы здѣсь такихъ клепаныхъ сосудовъ и резервуаровъ совершенно касаться не будемъ, ограничиваясь разсмотрѣніемъ сосудовъ свернутыхъ на флянцахъ или соединенныхъ иными какими нибудь подобными способами.

Сосуды или резервуары могутъ служить для безконечно разнообразныхъ цѣлей, и поэтому мы здѣсь разсмотримъ лишь нѣкоторые типичные или оригинальные примѣры.

Что̀ касается тѣхъ соображеній, которыми приходится руководствоваться при конструированіи сосудовъ или резервуаровъ, составляемыхъ изъ отдѣльныхъ частей, то условія эти весьма близки къ тѣмъ, которыми приходится руководствоваться при устройствѣ соединеній трубъ, и поэтому то вопросъ объ устройствѣ сосудовъ и разсматривается здѣсь, въ спеціальномъ сочиненіи, посвященномъ, собственно, устройству трубъ.

Важнѣйшія соображенія суть вопросы *прочности* и герметичности.

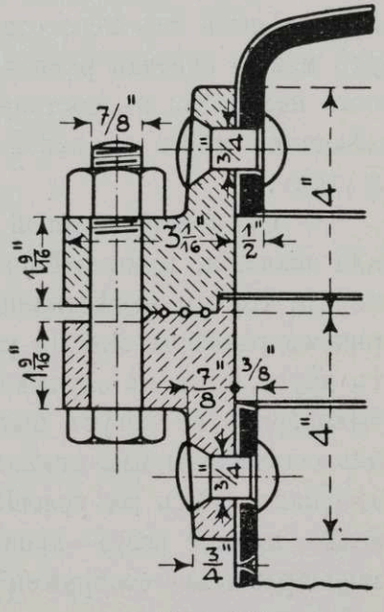
Съ точки зрѣнія прочности, сосуды, подобно трубамъ, необходимо раздѣлить на два класса, именно:

1). Сосуды открытые, въ которыхъ жидкость не находится ни подъ какимъ внѣшнимъ давленіемъ кромѣ воздушнаго, такъ что она имѣетъ свободную поверхность, и давленія въ различныхъ точкахъ сосуда обусловлены исключительно вѣсомъ жидкости; таковы баки или резервуары для воды, керосина, спирта и пр.

2). Сосуды закрытые, въ которыхъ жидкость имѣетъ давленіе большее или меньшее воздушнаго, и которые поэтому должны быть отдѣлены отъ окружающаго ихъ воздуха непрерывной стѣнкой, т. е. должны быть закрыты *со всѣхъ сторонъ*. Таковы паровые котлы, резервуары для сжатаго воздуха, холодильники паровыхъ машинъ и т. п.

Сообразно съ силами, дѣйствующими въ томъ или другомъ случаѣ, и съ величиною давленія въ каждомъ данномъ мѣстѣ, устраиваютъ соединенія частей резервуаровъ того или другого рода, которыя весьма сходны съ таковыми же устройствами для каналовъ и трубъ.

Именно, что касается прочности, то болты, свертывающіе флянцы, расчитываютъ по величинѣ силы, дѣйствующей по направленію, параллельному осямъ болтовъ, хотя здѣсь, при очень большомъ числѣ болтовъ, вопросъ о распредѣленіи между ними всей разрывающей силы становится довольно неопредѣленнымъ. Толщина флянцевъ и разстоянія между болтами подчиняются тѣмъ же соображеніямъ, что и при устройствѣ трубъ*.



Чер. 268.

* Приведемъ здѣсь еще весьма хорошіе размѣры флянцевъ, даваемые Хедеромъ для флянцевъ насосныхъ цилиндровъ:

толщина стѣнки δ =	8	10	12	15	20	30	40 mm
„ флянца δ_1 =	18	22	24	28	33	45	60 „
діаметръ болта d =	16	20	20	23	26	32	39 „

Очень хорошій примѣръ солидныхъ стальныхъ флянцевъ показанъ также на чертежѣ 268, представляющемъ привертываніе крышки къ котлу въ водотрубномъ котлѣ системы Бродовскаго.

Вопросъ о прокладкахъ для достиженія герметичности рѣшается совершенно такъ же, какъ и при трубахъ.

Мы разсмотримъ здѣсь нѣсколько наиболѣе типичныхъ примѣровъ свертыванія сосудовъ, преимущественно изъ числа тѣхъ, которые имѣются въ *Атласѣ*.

§ 115. Чугунные баки для воды.

Въ странахъ, гдѣ чугунъ дешевъ (Англія), чугунные баки пользуются значительнымъ распространеніемъ. Въ Россіи, въ настоящее время, наблюдается по временамъ „чугунный голодъ“, и желѣзо является очень дешевымъ матеріаломъ по сравненію съ чугуномъ, такъ что въ смыслѣ экономическомъ чугунные баки едва ли скоро найдутъ въ Россіи распространеніе. Поэтому скажемъ о нихъ лишь вкратцѣ, ограничиваясь самымъ существеннымъ. Интересующіеся найдутъ всѣ подробныя *конструктивныя* данныя относительно построенія чугунныхъ баковъ въ превосходномъ сочиненіи инженера Г. Адамса „Designing Ironwork“. Second series, Part III, Cisterns and Tanks.— By Henry Adams, въ которомъ приведены всѣ конструктивныя указанія и детальные чертежи исполненныхъ баковъ и ихъ деталей. Лицо, которому пришлось бы проектировать большіе чугунные баки, найдетъ въ книгѣ Адамса всѣ мельчайшія подробности относительно устройства таковыхъ. Наиболѣе важныя конструктивныя указанія (по даннымъ инженера Hutchisen'a) приведены на табл. 100 *Атласа*; къ нимъ остается прибавить здѣсь нѣкоторыя объясненія и дополнительныя данныя по Адамсу.

Вообще говоря, матеріалами для построенія сосудовъ (цистернъ или баковъ) для воды являются: дерево, свинецъ, гальванизированное или цинкованое желѣзо, мѣдь, шиферъ (аспидныя плиты), цементъ, бетонъ, листовое желѣзо и чугунъ.

Деревянные баки, выложенные внутри листовымъ цинкомъ, съ удобствомъ употребляются для цистернъ вмѣстимостію до 200 ведеръ, содержащихъ холодную воду.

Свинцовые спаяные изъ листовъ баки употребляются для небольшихъ сосудовъ, вмѣстимостію рѣдко болѣе 60 ведеръ.

Цинкованое желѣзо употребляется для баковъ до 400 ведеръ вмѣстимостію.

Мѣдь рѣдко примѣняется, и идетъ преимущественно для баковъ или сосудовъ съ горячею водою, въ которыхъ жидкости подвергаются кипяченію.

Шиферные баки встрѣчаются рѣдко.

Цементные и *желѣзо-бетонные* баки пользуются въ настоящее время большимъ распространеніемъ.

Для баковъ большого объема матеріаломъ наиболѣе часто служитъ *листовое желѣзо* (или сталь) и *чугунъ*.

Желѣзные и *стальные* баки клеплются изъ листовъ, и вопросъ о построеніи ихъ выходитъ изъ границъ настоящей книги. Такіе баки отличаются легкостію, такъ какъ листы могутъ быть весьма тонкими, имѣя толщину почти равную теоретически необходимой для сопротивленія внутреннему разрывающему давленію. Но такіе баки очень легко ржавѣютъ и эта опасность ржавленія и составляетъ ихъ слабую сторону.

Чугунные баки выходятъ приблизительно въ **три** и даже въ **четыре** раза тяжелѣе желѣзныхъ, вслѣдствіе значительной толщины стѣнокъ, необходимой для сопротивленія давленію и для достаточной жесткости, а также и вслѣдствіе присутствія тяжелыхъ флянцевъ. Но зато такіе баки отличаются значительною долговѣчностію и поэтому въ Англіи, гдѣ чугунъ дешевъ, пользуются обширнымъ распространеніемъ.

Такіе чугунные баки имѣютъ обыкновенно форму ящика или прямого параллелипипеда и составляются изъ квадратныхъ или прямоугольныхъ частей или плитъ. Примѣры такихъ баковъ приведены въ *Атласѣ* на табл. 100—103.

Размѣры плитъ бываютъ обыкновенно: отъ 3×3 до 5×5 футъ, но иногда употребляются прямоугольныя плиты съ размѣрами 4×3, 6×3 и 6×4 фута. Вообще рекомендуется употреблять плиты съ площадію не болѣе 25 квадратныхъ футъ.

Толщина плитъ должна быть сообразована съ давленіемъ, выдерживаемымъ ими. Точный расчетъ здѣсь невозможенъ и для толщины плитъ предложено нѣсколько формулъ, отчасти основанныхъ на расчетѣ, отчасти эмпирическихъ.

Въ *Атласѣ*, на табл. 100 приведена довольно сложная формула Hutchisen'a. Болѣе просто правило инженера Адамса:

„Ни одна плита не должна быть тоньше $^1/_2$ дюйма, а при глубинѣ бака болѣе 6 футъ ни одна плита не должна быть тоньше $^5/_8$ дюйма; толщина плитъ для дна и для нижняго ряда плитъ стѣнокъ, смежнаго съ дномъ, опредѣляется по формулѣ:

$$\delta = \frac{A\sqrt{H}}{192} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (139),$$

гдѣ

δ есть толщина плиты въ дюймахъ,
A „ высота (ширина) плиты въ дюймахъ,
H „ глубина нижняго ребра плиты подъ уровнемъ воды въ футахъ".

Плиты обыкновенно усиливаются ребрами; Адамсъ совѣтуетъ ставить ребра тогда, если какой нибудь изъ двухъ размѣровъ плиты превышаетъ 3 фута. Ребра обыкновенно ставятся на плитѣ діагонально, такъ, какъ на фиг. 13 табл. 100, или подобно этому. Для того, чтобы ребра дѣйствительно усиливали плиту противъ прогиба, онѣ должны стоять на *внутренней* сторонѣ, т. е. омываться водою; но часто ихъ располагаютъ на внѣшней сторонѣ, разсматривая болѣе какъ украшеніе, что̀, конечно, неправильно.

Соединенія плитъ производятся на флянцахъ, болтами, почему о такихъ бакахъ и говорится въ настоящей книгѣ. Толщина флянцевъ берется или такъ, какъ показано на табл. 100, или же, какъ обыкновенно, въ 1,25—1,5 раза болѣе толщины стѣнки.

Ширину флянцевъ $2s$ (тб. 100, ф. 1—3) Адамсъ совѣтуетъ дѣлать не менѣе $3d$ (я лично держусь общаго своего мнѣнія—что лучше дѣлать флянцы какъ можно у́же и ставить болты какъ можно ближе къ стѣнкѣ, и что лучше тотъ же матеріалъ потратить на увеличеніе толщины флянца, и не думаю, чтобы флянцы водяныхъ баковъ были бы исключеніемъ изъ этого правила, такъ что данныя Адамсомъ и Гутчисеномъ ширины считаю преувеличенными, хотя возможно, что изъ соображеній относительно жесткости плиты эти авторы и пришли къ такимъ размѣрамъ флянцевъ; но тогда лучше дѣлать болѣе сильныя ребра).

Переходъ отъ стѣнки къ флянцу при помощи промежуточной толщины (табл. 100), рекомендуемый Гутчисеномъ, не обязателенъ.

Діаметръ болтовъ берется или по табл. 100, или же такъ, что его дѣлаютъ равнымъ толщинѣ стѣнки, но не менѣе $^3/_4$ дюйма; разстояніе между центрами болтовъ берутъ отъ 6 до 8 діаметровъ, или по табл. 100.

Флянцы между болтами усиливаютъ ребрами, какъ показано на фиг. 11, табл. 100.

Толщину реберъ Адамсъ даетъ равной толщинѣ плиты, а Гутчисенъ—гораздо болѣе. О раціональной формѣ реберъ см. стр. 106—107.

Расчетъ болтовъ является довольно сложнымъ, даже въ тѣхъ стыкахъ, гдѣ болты подвергаются растяженію отъ давленія жидкости, такъ какъ стѣнки обыкновенно стягиваютъ затяжками, и узнать — какъ распредѣляются между болтами и затяжками силы давленія жидкости на стѣнки—невозможно.

Герметичность соединенія флянцами достигается здѣсь двумя разными путями. При одной конструкціи свертываемыя поверхности остругиваются (иногда же довольствуются просто литыми поверхностями) и между ними кладется прокладка изъ суриковой замазки (сурикъ пополамъ съ свинцовыми бѣлилами, растертый съ олифой въ

густую массу) или же азбестовый картонъ, тонкая резина, просмоленый холстъ, холстъ на сурикѣ и т. п., смотря по роду жидкости, табл. 100, фиг. 2 и 3.

Другой родъ соединенія—это при помощи ржавой замазки или дрязги (фиг. 1 табл. 100), которая набивается въ углубленіе, образующееся между двумя флянцами. О дрязгѣ подробно говорилось раньше, стр. 101—102.

Для баковъ, попеременно бывающихъ горячими и холодными, фирма Newton Chambers & Co. рекомендуетъ брать шагъ болтовъ не болѣе четырехъ дюймовъ.

Заслуживаютъ нѣкотораго вниманія различные способы образованія угловъ бака.

Углы бака образуются различными способами. Первый—это употребленіе отдѣльныхъ угловыхъ частей, какъ на фиг. 5 и 9 табл. 100. Ширину такой части не рекомендуется дѣлать болѣе одного фута. Подобная же часть, но съ внѣшними флянцами, показана на фиг. 7. Такія особыя угловыя формы удобны тѣмъ, что позволяютъ составлять баки изъ частей, отливаемыхъ по заранѣе сдѣланнымъ моделямъ. Но, съ другой стороны, при этомъ мы имѣемъ лишній стыкъ по сравненію съ другимъ способомъ, гдѣ уголъ отливается вмѣстѣ съ одною изъ плитъ, какъ на фиг. 4 табл. 100 и фиг. 5 табл. 102. Ширину такого угла Адамсъ рекомендуетъ не дѣлать болѣе 6 дюймовъ.

Болѣе старые способы образованія угловъ показаны на фиг. 14—17 табл. 100.

Вообще, въ настоящее время всѣ заводы стараются составлять баки изъ частей, отливаемыхъ при помощи сравнительно небольшого числа моделей. Первый примѣръ въ этомъ дѣлѣ подали, повидимому, Англійскіе заводы, но и Нѣмецкіе заводы уже давно слѣдуютъ тому же примѣру, какъ видно изъ эскиза бака, изображеннаго на фиг. 19 табл. 100 (въ подписи къ ней ошибочно поставлено: фиг. 20).

Для большей надежности чугунные баки, какъ уже было упомянуто, усиливаются затяжками (тягами, струнами). Такія затяжки ставятъ обыкновенно такъ, чтобы разстояніе между ними какъ по горизонтальному, такъ и по вертикальному направленію не превышало трехъ-четырехъ футъ. Тяги бываютъ или параллельны стѣнкамъ бака табл. 103, фиг. 17—19, или же наклонныя, какъ на фиг. 4 табл. 101. Конструкція ихъ достаточно ясно видна изъ таблицъ 100—103 *Атласа,* а за детальными свѣденіями отсылаемъ къ книгѣ Адамса.

Детальный чертежъ большого бака приведенъ на табл. 101 *Атласа* (а детали этого бака еще и на таб. 102); другой примѣръ большого бака можно найти въ журналѣ „Engineering“, 1894 годъ, Іюль 13. Случаи поломокъ баковъ приведены у Адамса.

Интересенъ случай поломки плитъ бака, изображеннаго въ *Атласѣ* на табл. 103, фиг. 17—20. Бакъ раздѣленъ перегородкой на двѣ половинки и въ лѣвой половинкѣ находится змѣевикъ съ паромъ для нагрѣванія воды. Однажды оказалось, что пять плитъ верхняго ряда дали трещины, причемъ всѣ трещины шли вертикально сверху внизъ возлѣ флянца и ширина трещины, начинаясь вверху отъ 1,5 mm, уменьшалась потомъ до нуля. Это и навело на открытіе причины. Оказалось, что бакъ держали всегда не полнымъ, а наполненнымъ водою всего лишь на глубину около 2—3 футъ, считая отъ дна; такимъ образомъ, змѣевикъ нагрѣвалъ такое малое количество воды въ своей половинѣ чуть не до кипѣнія и нижняя часть бака сильно расширялась, а верхняя, оставаясь холодной, не слѣдовала за этимъ расширеніемъ и получились трещины, ширина которыхъ была наибольшая тамъ, гдѣ было самое холодное мѣсто, т. е. у верхняго края бака.

Съ развитіемъ сталелитейнаго дѣла наряду съ чугунными баками появились баки совершенно такой же конструкціи, но только плиты не чугунныя, а *стальныя.* Такіе баки изготовляетъ, напримѣръ, извѣстный Англійскій Заводъ Thomas Piggot & Co. въ Бирмингамѣ. Баки свертываются изъ плитъ, прессованныхъ или штампованныхъ изъ стали. Плиты совершенно подобны плитамъ чугунныхъ баковъ, имѣютъ діагональныя

ребра и ребра на флянцахъ между болтовыми дырами; все это сразу штампуется. Заводъ употребляетъ плиты только одного размѣра: квадратныя 4 × 4 фута; толщина плитъ — $^5/_{16}$ дюйма, болтовыя дыры — $^5/_8$ дюйма діаметромъ. Плиты употребляются трехъ разныхъ моделей: для угловъ, для нижняго ряда и для верхняго ряда. Прокладкой между флянцами служитъ тонкая свинцовая полоска, занимающая *всю ширину* флянца, такъ что болты проходятъ сквозь нее; послѣ свертыванія свинецъ чеканится изнутри бака.

Выгоды такихъ стальныхъ баковъ передъ чугунными состоятъ въ значительной легкости, прочности, удобствѣ пересылки (плиты не требуютъ упаковки, обертыванія, не боятся сбрасыванія и пр., такъ какъ штампованая сталь несравненно менѣе хрупка, нежели литой чугунъ).

Дальнѣйшія интересныя подробности и детали можно найти въ спеціальномъ проспектѣ фирмы.

§ 116. Туннели.

Другимъ, весьма крупнымъ, примѣромъ свертыванія на флянцахъ сосудовъ или трубъ большого размѣра являются подземные *туннели*. Въ тѣхъ случаяхъ, когда туннель приходится проводить въ очень слабомъ или пропитанномъ водою грунтѣ, кирпичные, бетонные и т. п. туннели часто являются не пригодными, и единственнымъ возможнымъ рѣшеніемъ представляется прочный туннель, обыкновенно съ круглымъ сѣченіемъ, образованный изъ чугунныхъ трубъ. Въ большинствѣ случаевъ такой туннель приходится прокладывать въ землѣ при помощи особаго прибора или устройства, называемаго **щитомъ** и впервые примѣненнаго Бруннелемъ при прокладкѣ туннеля подъ Темзой, оконченнаго въ 1842 году.

Такіе туннели, длина которыхъ иногда доходитъ до нѣсколькихъ верстъ, по большей части служатъ для проведенія внутри нихъ путей сообщенія: пѣшеходныхъ троттуаровъ, шоссейныхъ дорогъ и желѣзнодорожныхъ путей, примѣры чего имѣются въ *Атласѣ* на табл. 99, 104, 113, 121. Иногда, впрочемъ, въ такихъ туннеляхъ проводятся и водопроводныя трубы, какъ напр. въ случаѣ, приведенномъ въ *Атласѣ* на фиг. 11—14 табл. 104.

Всѣ подобные чугунные туннели, ввиду ихъ значительнаго діаметра и значительной длины, а также и въ зависимости отъ способа прокладки ихъ, состоящаго въ томъ, что въ слабомъ или водоносномъ грунтѣ впереди работъ идетъ *щитъ*, предохраняющій рабочихъ и туннель отъ завалки ихъ грязію и потопленія водою, составляются какъ по длинѣ такъ и по окружности изъ массы отдѣльныхъ частей, свернутыхъ между собою на болтахъ. По длинѣ туннель составляется изъ колецъ, длина которыхъ обусловливается, собственно, мѣстными условіями (степенію слабости грунта), но обыкновенно бываетъ около 1—2 футъ. Каждое же такое кольцо, для удобства сборки, ввиду значительнаго діаметра туннеля, въ свою очередь составляется по окружности изъ нѣсколькихъ частей („сегментовъ“ или „секторовъ“). Такое устройство, вызванное условіями постройки, является, въ свою очередь, въ высшей степени благопріятнымъ для прочности туннеля, придавая ему огромную жесткость, каковая какъ разъ и необходима для того, чтобы труба могла сопротивляться сплющивающимъ усиліямъ отъ давленія окружающаго грунта и случайныхъ нагрузокъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что чугунный цилиндръ туннеля представляетъ изъ себя только, такъ сказать, основу или скелетъ сооруженія. Послѣ же сборки чугунной трубы внутренность ея заполняется еще концентрическимъ слоемъ бетона значительной толщины, какъ то ясно видно изъ приводимыхъ въ *Атласѣ* примѣровъ.

Расположеніе продольныхъ стыковъ бываетъ различно. Иногда всѣ стыки послѣдовательныхъ колецъ совпадаютъ, такъ что образуется по всей длинѣ туннеля одно непрерывное длинное ребро, иногда же такіе стыки идутъ въ перемежку.

Такъ какъ туннель лежитъ въ слабомъ или водоносномъ грунтѣ, то стыки частей его должны удовлетворять не только условіямъ прочности, но и условіямъ герметичности (обстоятельство, благодаря которому въ настоящей книгѣ и приходится отвести мѣсто такимъ туннелямъ, такъ какъ условія построенія ихъ вполнѣ тождественны съ условіями построенія прочихъ трубъ), т. е. не должны пропускать внутрь туннеля грунтовыя воды. Такая герметичность достигается путемъ прокладыванія между стянутыми при помощи болтовъ флянцами различныхъ матеріаловъ, примѣры чему имѣются въ *Атласѣ*.

Здѣсь надо различать продольные стыки и поперечные.

Въ продольныхъ стыкахъ, идущихъ вдоль образующей цилиндра, герметичность достигается или путемъ точной пригонки флянцевъ, которые для этого обрабатываются (примѣры: на табл. 99, фиг. 9 и 12), или же посредствомъ прокладыванія между флянцами прокладокъ изъ сосноваго дерева (табл. 99, фиг. 10), или же, наконецъ, путемъ заполненія части выемки, сдѣланной въ большей части глубины флянца, деревомъ и заполненія остальной части глубины выемки цементомъ (табл. 99, фиг. 9 и 18 и табл. 104, фиг. 12 и 14), причемъ часть ширины флянцевъ пригнана другъ къ другу непосредственно. Особый способъ заполненія продольныхъ стыковъ показываетъ фиг. 17 табл. 104; здѣсь между флянцами кладется прокладка изъ мягкаго дерева, которая затѣмъ распирается забитымъ въ нее дубовымъ клиномъ.

Въ поперечныхъ или круговыхъ стыкахъ герметичность достигается подобнымъ же образомъ. Именно, часть ширины флянцевъ пригоняется непосредственно другъ къ другу, а затѣмъ образуются углубленія, которыя заполняются деревомъ и цементомъ (табл. 99, фиг. 6), или же такое заполненіе дѣлается безъ пригонки флянцевъ (табл. 99, фиг. 19; табл. 104, фиг. 13); иногда же заполненіе дѣлается дрязгою, какъ на фиг. 7, 8 и 9 табл. 121 (пропорція въ этомъ примѣрѣ 400 : 1 по вѣсу). Въ нѣкоторыхъ случаяхъ употребляютъ для продольныхъ и поперечныхъ стыковъ войлокъ и асфальтъ (туннель подъ рѣкою Гарлемъ, табл. 113, фиг. 14—17).

Кромѣ герметичности туннель долженъ удовлетворять и условію достаточной его *прочности*.

Въ отличіе отъ трубъ обычнаго рода, туннель, подобно жаровой трубѣ парового котла, подвергается не внутреннему избыточному давленію, а наоборотъ, стремится быть сплющеннымъ избыткомъ внѣшняго давленія, происходящимъ вслѣдствіе давленія на туннель окружающаго его грунта, а также и вслѣдствіе случайныхъ нагрузокъ, при проѣздѣ надъ туннелемъ сильно нагруженныхъ экипажей и пр. Въ томъ случаѣ, если туннель лежитъ подъ рѣкою или подъ застроенными городскими территоріями, или же лежитъ на очень большой глубинѣ, на которую давленіе съ поверхности земли уже не передается (см. стр. 337), расчитывать его приходится только на давленіе окружающаго грунта.

Такой расчетъ представляетъ весьма большія затрудненія, главнымъ образомъ вслѣдствіе отсутствія достаточно надежныхъ опытныхъ данныхъ. Для интересующихся этимъ вопросомъ укажу одно сочиненіе, которое хотя въ смыслѣ строгости и ясности изложенія далеко не безукоризненно, но все таки даетъ для начинающихъ вполнѣ достаточное представленіе о характерѣ и величинѣ дѣйствующихъ силъ и можетъ быть весьма полезно для тѣхъ лицъ, которымъ придется имѣть дѣло съ подобными постройками. Это книжечка:

„Beitrag zur Theorie der Röhrentunnels kreisförmigen Querschnittes“. — Von Dr. techn. Fritz Steiner. Prag, 1906.

Для тѣхъ, кто чисто теоретически интересуется вопросомъ о сопротивленіи сжатой трубы, можетъ представить извѣстный интересъ книжка

„Ueber das elastische Gleichgewicht einer Hohlkugel, beziehungsweise eines Hohlcylinders“. Von Dr. tech. Alfons Leon. Wien, 1906.

Въ подробности подобныхъ расчетовъ здѣсь входить я не имѣю ни возможности, ни надобности.

Относительно конструктивныхъ подробностей устройства чугунныхъ туннелей таблицы *Атласа* даютъ достаточныя указанія. Здѣсь можно еще кратко резюмировать данныя относительно важнѣйшихъ конструктивныхъ деталей.

Толщина стѣнки туннелей бываетъ отъ 20 до 50 миллиметровъ. Радіальная высота реберъ бываетъ обыкновенно отъ 125 до 300 миллиметровъ. Діаметръ болтовъ, свертывающихъ сегменты, берется такъ: для поперечныхъ швовъ (по окружности) — отъ $^3/_4$ дюйма до 1 дюйма; шагъ же, т. е. разстояніе между этими болтами, бываетъ отъ 150 до 300 миллиметровъ. Діаметръ болтовъ на продольныхъ ребрахъ обыкновенно увеличивается съ увеличеніемъ діаметра туннеля и можетъ быть взятъ по эмпирической формулѣ:

$$d = {}^3/_4 + \frac{D-6}{32} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (140),$$

гдѣ D есть діаметръ туннеля въ футахъ, а d — діаметръ болта въ дюймахъ.

Шагъ этихъ болтовъ инж. Dunlop совѣтуетъ брать отъ 150 до 300 миллиметровъ, но бываетъ и меньше. Длина отдѣльныхъ колецъ туннеля зависитъ отъ свойствъ грунта и бываетъ отъ 300 до 800 миллиметровъ.

Теперь скажемъ здѣсь еще лишь нѣсколько словъ относительно въ высшей степени интереснаго для всякаго инженера вопроса о способѣ постройки такихъ туннелей посредствомъ *подвижного подземнаго щита*. Собственно, способовъ постройки туннелей существуетъ нѣсколько, но въ тѣхъ крайнихъ случаяхъ, гдѣ имѣютъ дѣло съ такимъ слабымъ и мокрымъ грунтомъ, что приходится одежду туннеля дѣлать изъ чугунныхъ цилиндровъ, всегда почти приходится прибѣгать и къ работѣ при помощи щитовъ, почему только объ этомъ именно способѣ мы здѣсь и говоримъ.

Щитъ есть желѣзный клепаный цилиндръ, наружный діаметръ котораго приблизительно равенъ діаметру будущаго туннеля. Этотъ щитъ все время работы идетъ впереди чугунной трубы, постепенно, кольцо за кольцомъ, собираемой позади его, и служитъ для того, чтобы защитить рабочихъ и внутренность туннеля отъ засыпки вынимаемымъ грунтомъ и отъ заливки водою. Въ этомъ именно щитѣ и помѣщаются рабочіе, которые производятъ выемку грунта (въ передней части щита) и которые производятъ сборку чугунной оболочки (въ *задней* части щита). Иногда возможно обойтись съ однимъ только щитомъ, а иногда, при очень сильномъ притокѣ воды, приходится въ помощь къ защитѣ щита прибѣгать еще и къ *сжатому воздуху*, который наполняетъ часть туннеля и щитъ, и выгоняетъ изъ нихъ воду, позволяя рабочимъ работать въ сухомъ или, лучше сказать, осушенномъ на извѣстное время и на извѣстномъ протяженіи грунтѣ.

Длина щита (безъ задней оболочки, окружающей собираемыя кольца) бываетъ обыкновенно въ 4 или 5 разъ болѣе, чѣмъ ширина одного чугуннаго кольца, т. е. бываетъ отъ 1 до 4 метровъ. Въ передней части щита во всю его поперечную площадь ставится перегородка или діафрагма, въ которой имѣется (иногда довольно сложная) система отверстій, дверецъ и клѣтокъ, черезъ которыя рабочіе производятъ разрыхленіе, выемку и удаленіе грунта. Въ особенности усложняется эта система въ случаѣ примѣненія сжатаго воздуха. Грунтъ или рѣжется самимъ щитомъ, который въ передней части имѣетъ солидное рѣжущее круговое ребро, какъ и у кессоновъ, или разрыхляется рабочими; затѣмъ земля удаляется транспортерами; иногда примѣняютъ даже экскаваторы. Въ задней части щита къ нему придѣлано тонкое кольцо, ширина котораго нѣсколько болѣе ширины одного звѣна чугунной одежды; подъ прикрытіемъ этого кольца и производится свертываніе новаго чугуннаго кольца съ готовой уже частію туннеля. По окончаніи такой сборки новаго кольца щитъ снова начинаютъ продвигать впередъ; это движеніе производится нѣсколькими (12—30 и болѣе) гидравлическими домкратами, упер-

тыми однимъ концомъ въ щитъ, а другимъ—въ готовую часть туннеля. Полная движущая сила этихъ домкратовъ въ суммѣ доходитъ при большихъ щитахъ до 5000 тоннъ!

Въ задней же части щита находятся и гидравлическіе подъемники (эректоры) для подъема и приставки на мѣсто отдѣльныхъ сегментовъ при сборкѣ трубы.

Послѣ того, какъ щитъ пройдетъ впередъ и новое кольцо чугунной оболочки будетъ собрано, вокругъ этого кольца остается между нимъ и грунтомъ нѣкоторый зазоръ, образованный тѣмъ, что кольцо собиралось внутри желѣзнаго цилиндра, который продвинулся затѣмъ вмѣстѣ съ щитомъ впередъ. Для того, чтобы заполнить это пространство, а также и тѣ пустоты, которыя могли образоваться вслѣдствіе осадки грунта, наполняютъ всю эту пустоту цементомъ. Для этой цѣли въ стѣнкахъ оболочки дѣлаютъ отверстія (показанныя на многихъ фигурахъ *Атласа*), сквозь которыя, по окончаніи сборки одного или двухъ колецъ, при помощи сжатаго воздуха нагнетаютъ во всю пустоту вокругъ колецъ цементный растворъ. Давленіе воздуха, необходимое для этой операціи, бываетъ не менѣе 50 фунтовъ на □ дюймъ.

Вотъ, въ существенномъ, пріемъ работы при помощи щита, подробности о которой можно найти въ спеціальныхъ книгахъ или въ указываемыхъ мною далѣе журнальныхъ статіяхъ. Здѣсь замѣчу только, что работа при помощи щита есть работа *весьма трудная* и хитрая, настолько, что иногда извѣстныя фирмы нарушали контрактъ и бросали работу вслѣдствіе затрудненій, съ которыми сталкивались. Большой щитъ вѣситъ иногда болѣе 300 тоннъ; надо вести его совершенно точно по данному направленію (приходится допускать и закругленія) какъ въ вертикальной, такъ и въ горизонтальной плоскости, а вѣдь подлѣзть подъ него нельзя, можно только выравнивать внутренними домкратами. Затѣмъ щитъ имѣетъ непріятную наклонность — вертѣться вокругъ своей оси, и этому тоже надо противодѣйствовать, и пр. Бываютъ случаи прорыва дна рѣкъ, подъ которыми идетъ щитъ, или якорями судовъ или же давленіемъ самаго сжатаго въ щитѣ воздуха и пр. и пр., вплоть до встрѣчи съ рѣкою кипятку. Масса такихъ интересныхъ случаевъ описана въ указываемыхъ ниже журнальныхъ статіяхъ.

Подробности относительно конструкціи и прокладки различныхъ чугунныхъ туннелей наиболѣе полно представлены въ Англійской и Американской литературѣ; не входя въ эти подробности (которыя сами составили бы порядочную книжку), я ограничусь здѣсь для лицъ, которымъ подробности эти могутъ понадобиться, указаніемъ этой журнальной литературы.

Журналъ „*Engineering*“.

1892 годъ, Іюнь 17 и 24.— Описаніе (весьма подробное и интересное) производства работъ при прокладкѣ туннеля водопровода Vyrnwy, изображеннаго на табл. 104 *Атласа*. При этой работѣ были встрѣчены необыкновенныя затрудненія.

1895 годъ, Январь 4, Февраль 8 и 15, Мартъ 15 и 29.—Описаніе устройства туннеля Blackwall, изображеннаго на табл. 104 *Атласа*.
Май 10 и 31.— Описаніе туннеля въ гавани Глазго.

1896 годъ, Ноябрь 6. — Описаніе туннеля въ Глазго, тб. 104 *Атласа*.

1898 годъ, Мартъ 18.—Детальный чертежъ щита.

1902 годъ, Январь 10.— Описаніе туннеля подъ рѣкою Гарлемъ, въ Нью-Іоркѣ, изображеннаго на табл. 113 *Атласа*.

1903 годъ, Май 8.— Описаніе туннеля въ Лондонѣ, подъ каналомъ Регента, изображеннаго въ *Атласѣ* на табл. 99. Указанъ способъ постройки.

Журналъ „*Engineering News*“.

1894 годъ, Мартъ 1. — Краткія свѣденія о туннелѣ Общества „The East River Gas Co.“, въ Нью-Іоркѣ.

Октябрь 18. — Нѣкоторыя указанія относительно туннеля въ Глазго, изображеннаго на табл. 104 *Атласа*.

1903 годъ, Октябрь 1. — Описаніе туннеля подъ рѣкою Гарлемъ, изображеннаго на табл. 113 *Атласа*.

Октябрь 15. — Подробное описаніе устройства и хода работъ туннеля подъ рѣкою North River, въ Нью-Іоркѣ, изображеннаго на табл. 121 *Атласа*. Конструкція этого туннеля въ высшей степени интересна, такъ какъ труба туннеля держится внутри грунта въ равновѣсіи не сама по себѣ, какъ вездѣ, а основана на винтовыхъ чугунныхъ сваяхъ, видимыхъ на табл. 121.

1906 годъ, Іюль 12. — Туннель Пеннсильванской дороги подъ рѣкою East River. Интересныя подробности относительно санитарныхъ мѣръ для здоровія и безопасности рабочихъ, условія пріемки людей, продолжительность работы при разныхъ давленіяхъ, подземные пріемные покои, снабженіе людей даровой пищей и пр. Детальные чертежи щита.

Декабрь 13. — Описаніе туннеля Пеннсильванской дороги подъ рѣкою Hudson, въ Нью-Іоркѣ. Детали устройства трубъ и детальные чертежи щитовъ съ новыми оригинальными конструктивными особенностями. Весьма обстоятельная статья.

1907 годъ, Февраль 28. — Продолженіе предыдущей статьи о туннелѣ Пеннсильванской желѣзной дороги, содержащее въ высшей степени интересныя подробности о ходѣ работъ и о всѣхъ деталяхъ предпріятія.

Декабрь 19. — Новый туннель подъ Темзой. Детали устройства, детальные чертежи и фотографіи щита. Вращательная машина для выемки грунта. Весьма обстоятельная статья.

Журналъ „*The Engineer*“.

1897 годъ, Май 21. — Виды производства работъ въ туннелѣ Blackwall и описаніе хода работъ.

1898 годъ, Декабрь 16 и 30. — Статья Денлопа, въ которой излагаются общія соображенія относительно прорытія туннелей при помощи щитовъ.

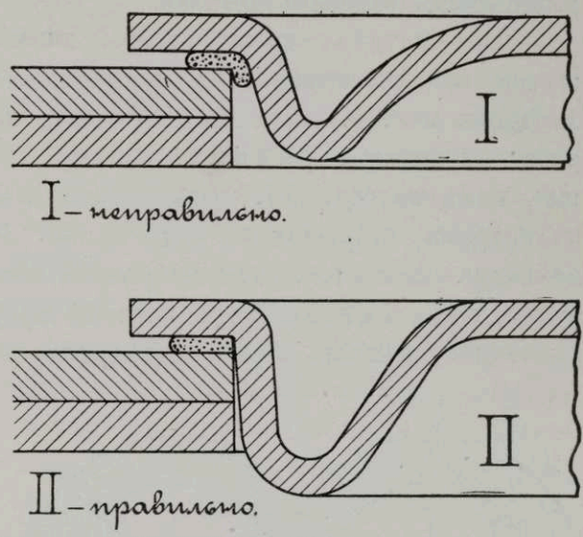
1906 годъ, Октябрь 26 (и слѣд. нумера). — Подробная статья, съ примѣрами, о геодезическихъ работахъ при прокладкѣ трубчатыхъ туннелей; разбивка линіи, поддержаніе направленія и высоты и пр. Очень обстоятельная статья.

1907 годъ, Февраль 1 (и слѣд. нумера). — Большая статья объ облегченіи сообщеній въ Нью-Іоркѣ, содержащая много подробностей и о трубчатыхъ туннеляхъ.

§ 117. Весьма поучительные примѣры неправильнаго устройства при свертываніи частей, назначенныхъ для храненія внутри себя жидкости подъ давленіемъ, мы встрѣчаемъ при устройствѣ *котельныхъ лазовъ*.

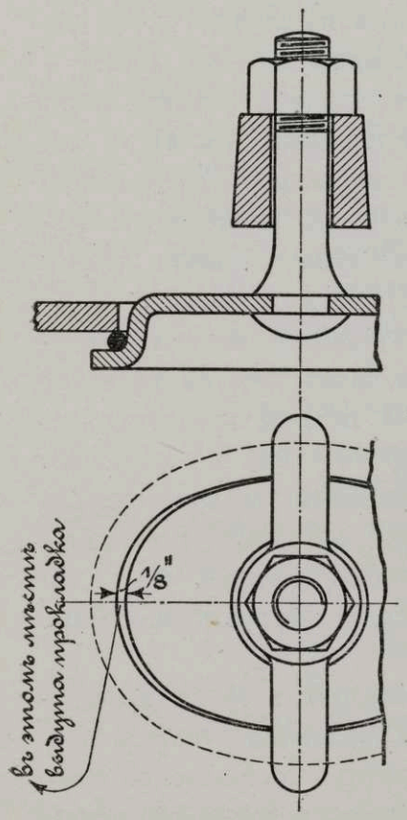
Упоминавшаяся уже не разъ Англійская статистика котельныхъ взрывовъ насчитываетъ за время съ 1891 по 1910 годъ около сорока случаевъ „взрывовъ“ котельныхъ лазовъ, которые всѣ имѣютъ *совершенно одинаковый характеръ и причину* и являются результатомъ небрежности или невѣжества конструкторовъ. Къ сожалѣнію, эти взрывы лазовъ очень часто имѣютъ и крайне печальныя послѣдствія, въ особенности, если они происходятъ *на судахъ*, и результатомъ названныхъ сорока взрывовъ явилась смерть **сорока четырехъ человѣкъ**, такъ что это явленіе заслуживаетъ полнаго вниманія инженеровъ и техниковъ.

Названные выше „взрывы“ лазовъ состоятъ въ слѣдующемъ. Благодаря неправильной формѣ крышки лаза и употребленію неподходящей набивки, набивочное кольцо, подвергающееся давленію жидкости, разлѣзается на нѣсколько частей и куски набивки выталкиваются вонъ съ мѣста и вылетаютъ наружу; въ образовавшееся отверстіе вырываются паръ и вода, наполняютъ помѣщеніе и сваривают людей. Такой разрывъ набивки мы уже разсматривали на стр. 154, только тамъ давленіе жидкости было внутри кольца, въ трубѣ, а при лазахъ оно бываетъ снаружи кольца.



Чер. 269.

Набивкой, которая всегда только и разрушается при названныхъ несчастіяхъ, бываетъ почти всегда набивка *круглая*, обыкновенно резиновая; діаметръ такой набивки бываетъ отъ 12 до 25 mm. Обстоятельствомъ же, дающимъ возможность такой набивкѣ быть разорванной на куски давленіемъ жидкости, и позволяющимъ этимъ кускамъ вылѣзти наружу, является *слишкомъ большой зазоръ между вырѣзомъ въ котлѣ, сдѣланнымъ для лаза, и самой крышкой этого лаза*. Весьма часто крышки такихъ лазовъ выполняются такъ, какъ показано на чер. 269, I, и кругомъ крышки, когда она вставлена въ вырѣзъ котла, образуется зазоръ, или по всей окружности, или же въ одномъ мѣстѣ, если она, благодаря свободѣ, при постановкѣ будетъ сдвинута къ одной сторонѣ. Величина этого зазора въ наблюдавшихся случаяхъ взрывовъ доходила до 20 mm. При существованіи такой свободы крышки въ вырѣзѣ часто случается, что набивочное кольцо тоже располагается неправильно, сдвигается на одну сторону, часть его залѣзаетъ въ имѣющійся зазоръ и вслѣдствіе этого такое кольцо безъ труда бываетъ разорвано давленіемъ жидкости и затѣмъ кусокъ его, длиною во много сантиметровъ, вышибается наружу, и изъ котла иногда цѣлый часъ хлещетъ вода и паръ, пока онъ не опорожнится! Для избѣжанія такихъ случаевъ необходимо, чтобы крышка лаза имѣла бы форму, подобную показанной на чер. 269, II, т. е. входила бы почти **совершенно плотно** въ вырѣзъ стѣнки котла, и чтобы набивка никогда не дѣлалась бы изъ резиноваго шнура съ круглымъ поперечнымъ сѣченіемъ, а дѣлалась бы *плоской* (изъ азбестоваго картона, ткани, азбеста съ сѣткой и пр.), достаточно широкой, и помѣщалась бы на достаточно широкой опорной поверхности.



Чер. 270.

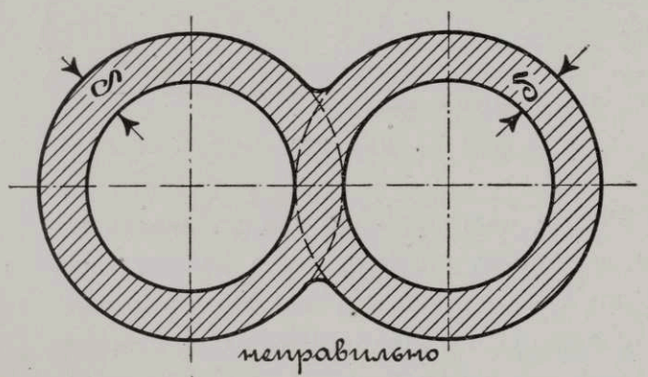
Въ одномъ случаѣ (отчетъ № 1385) было свареко на смерть сразу *пять человѣкъ*; въ этомъ случаѣ, въ видѣ рѣдкаго исключенія, прокладка была не круглая, а плоская, азбестъ съ сѣткой.

Подробной статистики всѣхъ взрывовъ лазовъ приводить не будемъ, такъ какъ они слишкомъ однообразны; упомянемъ лишь про одинъ случай (отчетъ № 1284), гдѣ указанные сейчасъ недостатки выступаютъ особенно рельефно. На чер. 270 показанъ лазъ и прокладка (круглая, $^1/_4$", азбестъ); зазоръ здѣсь настолько великъ, что нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что прокладка была вышиблена вонъ. Форма лаза представляетъ изъ себя образецъ небрежной конструкціи.

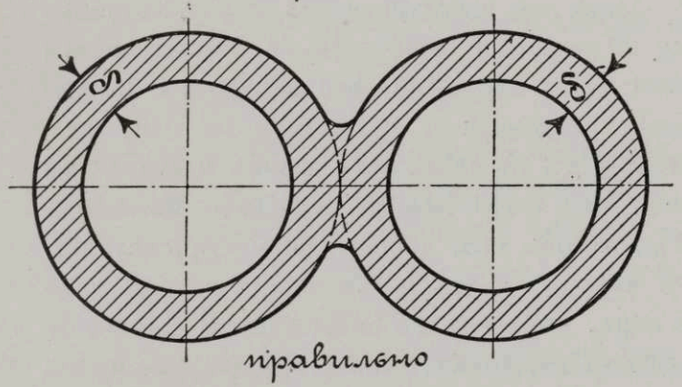
СТУДЕНЧЕСКІЙ ... ОК ТЕПЛОТЕХНИКИ

§ 118. Многочисленные и разнообразные примѣры конструкцій сосудовъ въ широкомъ смыслѣ этого слова, начиная отъ конденсатора паровой машины и кончая 12-дюймовымъ пушечнымъ снарядомъ, приведены въ *Атласѣ* со всѣми нужными данными на табл. 99—122. Мы ограничимся здѣсь лишь еще немногими замѣчаніями относительно нѣкоторыхъ важныхъ деталей.

Обратимъ, прежде всего, вниманіе на одну ошибку, весьма часто встрѣчающуюся при конструированіи гидравлическихъ прессовъ и подъемниковъ, паровыхъ цилиндровъ и т. п., въ тѣхъ случаяхъ, когда два или болѣе одинаковыхъ цилиндровъ расположены рядомъ. Именно, очень нерѣдко можно встрѣтить такую конструкцію, какъ на чер. 271, представляющемъ поперечный разрѣзъ двухъ лежащихъ рядомъ цилиндровъ, отлитыхъ въ одно цѣлое. Здѣсь толщина стѣнки въ томъ мѣстѣ, гдѣ оба цилиндра сливаются, сдѣлана равной *всего лишь простой толщинѣ стѣнки* δ. **Это**, конечно, **неправильно**, такъ какъ на продольный разрѣзъ этой стѣнки передается разрывающая сила отъ *двухъ* цилиндровъ, равная $2pLD$, гдѣ L—длина цилиндровъ, а D—внутренній діаметръ цилиндра; слѣдовательно, и толщина стѣнки въ этомъ мѣстѣ должна быть равна 2δ (чер. 272), или лишь немного менѣе, но никакъ не просто δ. Между тѣмъ, вѣроятно, попросту въ силу привычки и рутины, нерѣдко чертежникъ чертитъ цилиндры такъ, какъ показано на чер. 271, и результатомъ являются иногда поломки. То же относится и къ случаю, когда оба цилиндра имѣютъ разные діаметры и разныя толщины стѣнки. Часто дѣлаютъ толщину въ мѣстѣ соединенія цилиндровъ равною толщинѣ бо́льшаго цилиндра, а слѣдуетъ ее дѣлать равною суммѣ толщинъ обѣихъ стѣнокъ.



Чер. 271.



Чер. 272.

Обращаю вниманіе читателей на табл. 106, не съ точки зрѣнія свертыванія флянцевъ, а съ точки зрѣнія черченія. Эта таблица представляетъ *превосходный образецъ детальнаго чертежа* со всѣми тѣми подробностями и надписями, которыя на хорошемъ заводѣ непремѣнно обязана дѣлать чертежная, не предоставляя все это на волю мастера. Этотъ чертежъ я очень рекомендую молодымъ техникамъ, какъ примѣръ того, что̀ долженъ представлять изъ себя детальный чертежъ. Къ сожалѣнію, въ практикѣ даже хорошихъ заводовъ приходится встрѣчать чертежи, способные навести ужасъ.

Весьма интересный примѣръ свертыванія флянцевъ сосудовъ и трубъ представляетъ изъ себя таблица 119, которая показываетъ, насколько различно думаютъ конструкторы Европейскій и Американскій. Европейскій конструкторъ обыкновенно говоритъ: „столкновенія поѣздовъ быть не должно, это недопустимо“ и болѣе объ этомъ вопросѣ не заботится. Но извѣстный процентъ столкновеній все таки происходитъ, въ силу неустранимыхъ особенностей человѣческой натуры, и, вѣроятно всегда будетъ происходить. Американецъ говоритъ: „столкновенія неизбѣжны и происходятъ; надобно позаботиться о томъ, чтобы по возможности ослабить ихъ страшныя послѣдствія“. Съ этою цѣлію Американцы стали, напримѣръ, строить спеціальные съ раскосами почтовые вагоны, когда замѣтили, сколько гибнетъ почтовыхъ чиновниковъ благодаря тому, что

почтовый вагонъ ставится вслѣдъ за паровозомъ, въ головѣ поѣзда. Точно тѣмъ же объясняется и устройство, показанное на таблицѣ 119. Слѣдуетъ указать, что при тѣхъ умѣренныхъ скоростяхъ, съ которыми ходятъ Русскіе поѣзда, картина крушенія, знакомая Русскому читателю, совершенно иная, нежели за границей. У насъ разбиваетъ оконечности вагоновъ, выталкиваетъ вагоны изъ порядка въ сторону. При огромныхъ скоростяхъ, имѣющихъ мѣсто за границей, происходитъ совершенно другое явленіе, такъ называемый „телескопажъ“ (съ Французскаго). Именно, если одинъ поѣздъ быстро налетаетъ на другой, въ особенности сзади, что̀ чаще бываетъ, то паровозъ налетѣвшаго сзади поѣзда буквально разрываетъ задніе вагоны перваго поѣзда по всѣмъ четыремъ ребрамъ и какъ игла влѣзаетъ внутрь одного или нѣсколькихъ вагоновъ, а слѣдомъ за нимъ лѣзутъ и вагоны его поѣзда, и одни вагоны вскакиваютъ въ другіе, какъ звѣнья телескопа, откуда и названіе. При многихъ такихъ телескопажахъ въ Америкѣ случалось, что питательный клапанъ инжекторной трубы, вводящій въ котелъ воду и помѣщающійся всегда снаружи котла, отламывался, и фонтаномъ кипятка, бившимъ изъ котла, сваривало на смерть всѣхъ пассажировъ, уцѣлѣвшихъ въ вагонахъ отъ самого столкновенія. Тогда Американцы переконструировали этотъ клапанъ *спеціально на случай столкновенія* (для насъ это звучитъ довольно дико и непривычно), именно такъ, какъ и показываетъ таблица 119, фиг. 1—19. Питательный клапанъ унесенъ внутрь котла и флянцы, соединяющіе его съ котломъ, сдѣланы необыкновенно солидными; наоборотъ, флянцы наружной питательной трубы сдѣланы нарочно очень слабыми, чтобы ломались именно они. Клапанъ же внутри котла защищенъ отъ столкновенія и не пуститъ воду даже и въ случаѣ поломки наружной трубы; флянцы клапана очень прочны и могутъ уцѣлѣть.

Теперь скажемъ нѣсколько словъ относительно „химическихъ“ сосудовъ, т. е. тѣхъ сосудовъ и баковъ, которые встрѣчаются преимущественно въ области различныхъ химическихъ производствъ, и въ которыхъ производится кипяченіе, выпариваніе, выщелачиваніе, отстойка, пропитываніе и пр. процессы, причисляемые обыкновенно къ области химической технологіи.

Изъ деталей такихъ сосудовъ разсмотримъ здѣсь присоединеніе трубъ къ стѣнкамъ и крышки.

„Химическіе“ сосуды въ большинствѣ случаевъ устраиваются изъ желѣзныхъ и мѣдныхъ листовъ. Разнообразные способы и случаи присоединенія къ такимъ сосудамъ трубъ, приводящихъ и уводящихъ жидкости, показаны на таблицѣ 120 и чертежи эти не требуютъ никакихъ дальнѣйшихъ поясненій. Гораздо бо́льшаго вниманія заслуживаетъ другая деталь, часто встрѣчающаяся въ такихъ сосудахъ, именно крышка.

Въ сосуды постоянно приходится загружать новыя партіи матеріала и выгружать уже переработанный матеріалъ. Поэтому, устраивать для такихъ сосудовъ крышку обычнымъ образомъ, съ флянцемъ, привертываемымъ многими болтами, очень неудобно, такъ какъ для отвертыванія и снятія съ болтовъ гаекъ (а болтовъ бываетъ иногда 40 штукъ) требуется очень много времени. Отчасти этому затрудненію помогаютъ, устраивая или съемные болты, или откидные, съ которыхъ гайку совсѣмъ свертывать не нужно, а достаточно отвернуть гайку лишь настолько, чтобы можно было снять въ бокъ или откинуть болты *. Но этимъ выигрывается мало времени и потому перешли къ конструкціямъ, при которыхъ прикрѣпленіе и разъединеніе крышки производятся очень быстро.

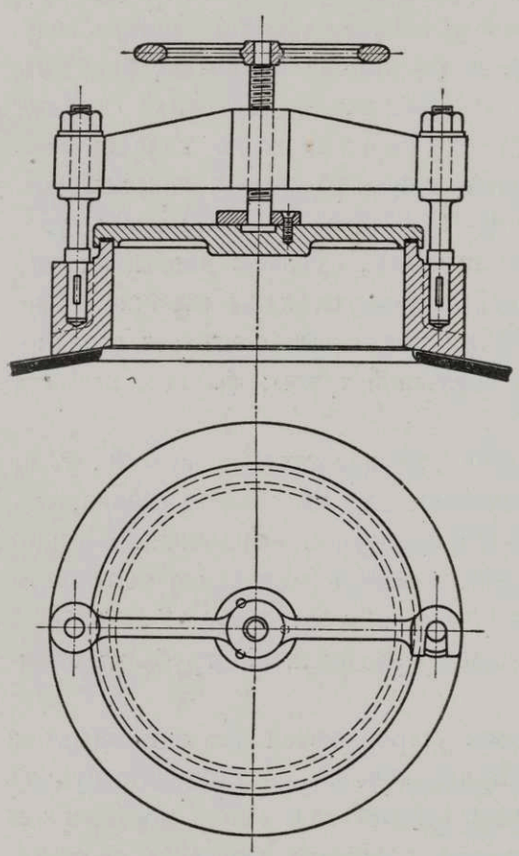
---

* Примѣръ съемнаго болта представленъ въ первой части *Атласа* (изданіе 4-е), на табл. 12, фиг. 22, а примѣръ откидного болта—на той же таблицѣ, фиг. 14—15 и на табл. 80, фиг. 1—2. При съемныхъ болтахъ представляется опасность, что они постепенно будутъ растеряны и, по непониманію рабочихъ, не замѣнены новыми, и послѣдуетъ взрывъ, что̀ и бываетъ, какъ именно въ примѣрѣ, приведенномъ на фиг. 22 (подробности см. на таблицѣ). Кромѣ того, при эксцентричномъ расположеніи головки, какъ на этой фигурѣ, болты могутъ соскальзывать съ флянцевъ, если не сдѣлано спеціальныхъ задержекъ и т. п.; такое соскальзываніе тоже бываетъ въ практикѣ. Откидные болты надежнѣе, но и при нихъ можетъ быть соскальзываніе, если тонокъ флянецъ или, тѣмъ болѣе, если ухо

Главныхъ конструкцій быстро отнимающихся крышекъ—двѣ. Или устраиваютъ крышку, которая откидывается на петляхъ, или же крышка просто отнимается; но какъ въ томъ, такъ и другомъ случаѣ нажимъ крышки производится при помощи скобы и солиднаго нажимного винта, расположеннаго въ центрѣ крышки. Примѣръ показанъ на чер. 273.

Но такія крышки явились поводомъ для массы взрывовъ вслѣдствіе неправильной конструкціи ихъ, и обстоятельство это заслуживаетъ вниманія; оно извѣстно въ технической литературѣ и въ Германіи было предметомъ спеціальныхъ изслѣдованій, предпринятыхъ Техническими Обществами.

Первая неправильность конструкціи — это слабость крышки. Напримѣръ, при чугунныхъ крышкахъ довольно трудно, при массѣ разнообразныхъ конструктивныхъ формъ такихъ крышекъ (въ одномъ только журналѣ „Mittheilungen aus der Praxis des Dampfkessel- und Dampfmaschinen-Betriebes“ за 1897 годъ, 1 Августа, приведено пятнадцать конструкцій), рѣшить, какъ будетъ гнуться крышка и гдѣ дѣлать ребра—внутри или снаружи (кстати сказать, разсужденіе въ указанной статьѣ относительно направленія прогиба крышки — довольно сомнительнаго свойства). Поэтому, иногда неудачное расположеніе реберъ чугунной крышки, а затѣмъ просто малая толщина стѣнки *всякой* крышки въ томъ случаѣ, если реберъ нѣтъ, — служатъ причиной поломки.



Чер. 273.

Весьма опасное обстоятельство, далѣе, состоитъ въ томъ, что обыкновенно затворъ конструируется такъ, что винтомъ можетъ быть произведено нажатіе, гораздо большее противъ „нормальнаго“, на которое конструкторъ, можетъ быть, даже и расчиталъ всѣ детали. Рабочій, если крышка потечетъ, не думаетъ о напряженіяхъ, а давитъ винтомъ до тѣхъ поръ, пока не прекратится течь; если у него не хватаетъ силы, то онъ надѣваетъ газовую трубку на рычагъ винта (если онъ устроенъ такъ, какъ въ тискахъ) или же вставляетъ между спицами маховичка палку и давитъ на плечѣ въ 10 и больше разъ превышающемъ то, о которомъ думалъ кабинетный конструкторъ! Поэтому рекомендуется, во избѣжаніе такихъ поступковъ со стороны непонимающихъ рабочихъ, *дѣлать маховички безъ спицъ*, съ дискомъ, чтобы нельзя было никакъ увеличить плечо силы, или подобнымъ же образомъ дѣлать и рычагъ.

Повидимому, какъ можно судить по литературѣ и какъ мнѣ пришлось видѣть и лично, одной изъ лучшихъ конструкцій затворовъ для быстраго отъема крышекъ надо считать такую, при которой нажимного винта въ центрѣ нѣтъ, а крышка задерживается многочисленными полосами, которыя вылѣзаютъ по радіальному направленію и входятъ въ скобки, сдѣланныя по окружности флянца сосуда. Такія крышки сложнѣе и, можетъ быть, дороже, но зато онѣ вполнѣ надежны и о нихъ вездѣ даются лучшіе отзывы.

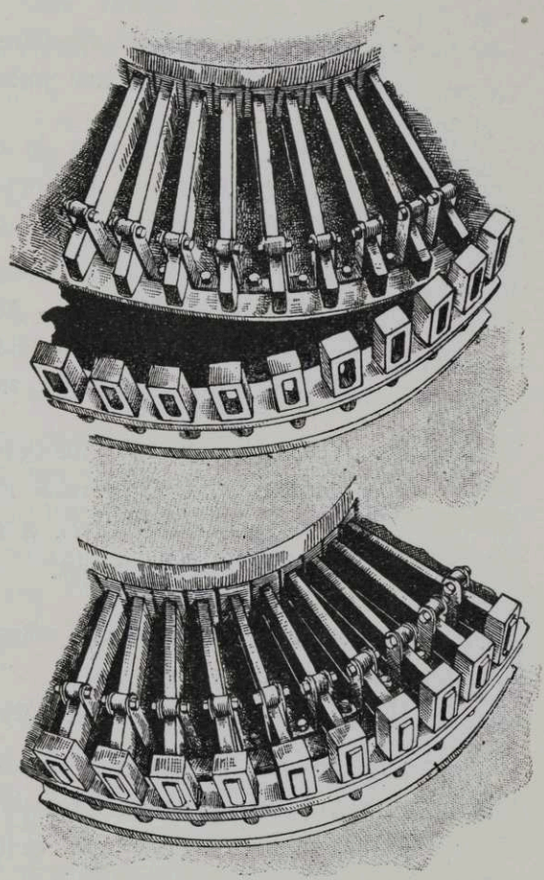
съ поперечнымъ шкворнемъ расположены эксцентрично относительно оси болта; и здѣсь, чтобы предотвратить соскальзываніе гаекъ съ флянца, необходимо устраивать такъ, чтобы гайка *задерживалась* выточкой и пр.; примѣры такого задержанія показаны на табл. 107, фиг. 19 и 20. Теперь такое задерживаніе требуется въ Германіи закономъ, а закладные эксцентричные болты *вовсе запрещены* (см. табл. 14, надпись къ фиг. 22).

Примѣръ такой крышки показанъ на чер. 274, изображающемъ крышку сосудовъ для вулканизированія дерева на заводѣ „Haskin Wood Vulcanising Works, Millwall“.

Какъ весьма отвѣтственный и серьезный случай устройства „крышки“ слѣдуетъ упомянуть здѣсь винтовой *пушечный затворъ*, который долженъ дать герметичность при давленіи до 4000 атмосферъ! Конструкціи такихъ затворовъ весьма интересны и поучительны, но это вопросъ слишкомъ спеціальный и здѣсь мы имъ заниматься не можемъ.

Такъ какъ уже не разъ говорилось здѣсь о томъ, что случаи поломокъ въ высшей степени поучительны, то я привожу теперь примѣры поломокъ разнообразныхъ сосудовъ и ихъ крышекъ.

§ 119. Случаевъ *изломовъ* или взрывовъ различныхъ сосудовъ, употребляющихся въ техникѣ, весьма много, и объ нихъ однихъ можно бы написать цѣлую книгу, весьма притомъ поучительную. Наибольшую извѣстность пріобрѣли взрывы тѣхъ сосудовъ, которые пользуются уже давно большимъ распространеніемъ, именно паровыхъ котловъ. Подъ именемъ паровыхъ котлозъ мы здѣсь, въ тѣсномъ смыслѣ слова, подразумѣваемъ тѣ сосуды, обыкновенно большого размѣра, въ которыхъ *образуются* значительныя количества водяного пара, назначенные для работы паровыхъ двигателей, а иногда и для цѣлей отопленія и пр. Такіе паровые котлы дали за послѣдніе сто лѣтъ огромное количество взрывовъ, иногда весьма страшныхъ, уносившихъ десятки жизней и сотни тысячъ рублей. Такіе котлы въ настоящее время изучены весьма тщательно и подробно, по нимъ имѣется прекрасная литература (и на Русскомъ языкѣ), они подчинены извѣстнымъ законамъ, изданнымъ во всѣхъ культурныхъ странахъ и регулирующимъ устройство такихъ котловъ и пользованіе ими, въ томъ смыслѣ, чтобы по возможности избѣжать несчастій. Такимъ образомъ, хотя такіе котлы тоже могутъ считаться „сосудами“ (однако обыкновенно не свернутыми на флянцахъ, а клепаными или сварными изъ желѣза и мѣди), но говорить объ нихъ въ настоящемъ сочиненіи нѣтъ необходимости, такъ какъ все нужное можно найти въ спеціальныхъ сочиненіяхъ о паровыхъ котлахъ. Но есть много другихъ сосудовъ, самой разнообразной формы, матеріала и назначенія, гдѣ по условіямъ работы тоже образуется или же только находится паръ (воды или другихъ жидкостей). Такіе сосуды представляютъ всѣ тѣ же опасности, какъ и паровые котлы, но, въ силу своихъ обыкновенно меньшихъ размѣровъ, малаго давленія въ нихъ пара, стремленія къ грошовой экономіи, невѣжества, установившейся привычки и пр., не считаются за паровые котлы ни передъ лицомъ закона, ни въ глазахъ инженеровъ. Взрывовъ такихъ „котловъ“ или сосудовъ тоже весьма много, и эти взрывы иногда тоже уносятъ человѣческія жизни и причиняютъ убытки, а между тѣмъ во многихъ странахъ устройство и употребленіе такихъ сосудовъ не контролируется правилами, изданными законодательнымъ порядкомъ, да и литература по этому вопросу не можетъ похвалиться особенною полнотою и обстоятельностію; нѣкоторыя свѣденія объ устройствѣ такихъ сосудовъ находятся или только въ очень подробныхъ курсахъ Деталей Машинъ (напр., у Баха), или же разбросаны въ



Чер. 274.

спеціальныхъ сочиненіяхъ по Технологіи и т. п. Вслѣдствіе этого я счелъ полезнымъ въ настоящей книгѣ и въ *Атласѣ* отвести мѣсто сосудамъ, не только съ точки зрѣнія свертыванія ихъ на флянцахъ, но и вообще въ смыслѣ изложенія нѣкоторыхъ важныхъ соображеній при конструированіи такихъ сосудовъ и обращеніи съ ними. Обстоятельства, обусловливающія взрывы такихъ разнообразныхъ сосудовъ, въ общемъ сходны съ тѣми, которыя имѣютъ мѣсто и при паровыхъ котлахъ (и которыя мы предполагаемъ извѣстными), только вредное вліяніе различныхъ факторовъ выступаетъ при сосудахъ обыкновенно болѣе сильно, нежели при настоящихъ паровыхъ котлахъ.

Наибольшее количество свѣденій имѣется въ Англійской литературѣ, такъ какъ по упомянутому ранѣе Парламентскому Акту *всѣ* случаи нарушенія цѣлости сосудовъ, содержащихъ паръ, подводятся подъ понятіе взрыва парового котла и имъ ведется статистика, которую мы далѣе и приведемъ. Важнѣйшими *причинами взрывовъ* являются нижеслѣдующія:

1). *Неправильность конструкціи* сосуда (въ смыслѣ прочности) при нормальныхъ условіяхъ его работы (при правильномъ уходѣ и ремонтѣ).

2). *Неправильный уходъ* за сосудомъ, послѣдствіемъ чего чаще всего бываетъ то, что давленіе въ сосудѣ подымается гораздо выше того, для котораго онъ былъ конструированъ. Иногда же послѣдствіемъ неправильнаго обращенія съ сосудомъ бываетъ частичное его разрушеніе (постепенное утоненіе стѣнки отъ истиранія, разъѣданія и пр., потеря нѣкоторыхъ частей, напр., болтовъ флянцевъ, накаливаніе стѣнки до красна, такъ что матеріалъ теряетъ часть крѣпости, и т. п.).

3). *Неосторожность* хозяина или механика фабрики, состоящая въ томъ, что ставятъ для извѣстной цѣли сосудъ, который вовсе не расчитанъ для этого случая, а назначался и былъ вполнѣ правильно расчитанъ, но совсѣмъ для другого употребленія.

Разсмотримъ подробнѣе обстоятельства, вслѣдствіе которыхъ дѣйствуетъ каждая изъ перечисленныхъ причинъ.

Неправильности **конструкціи** наиболѣе часто наблюдаются слѣдующія:

А). Примѣненіе *плоскихъ стѣнокъ*, которыя не были расчитаны и не въ состояніи выдержать того давленія жидкости, при которомъ имъ приходится работать.

Объ опасности плоскихъ стѣнокъ и объ ихъ многочисленныхъ поломкахъ очень много писали, но, несмотря на это, и до сихъ поръ весьма нерѣдко въ роли заводскихъ конструкторовъ выступаютъ лица, не имѣющія достаточнаго запаса элементарныхъ конструктивныхъ свѣденій, и поэтому строятся сосуды, въ которыхъ примѣнены плоскія стѣнки, толщина которыхъ взята прямо на глазъ, безъ всякаго расчета. Примѣры поломокъ сосудовъ съ плоскими стѣнками уже были приведены мною здѣсь на стр. 169—170. Необходимо помнить, что всякая плоская стѣнка работаетъ *на изгибъ* и поэтому толщина ея должна быть непремѣнно расчитана надежнымъ образомъ и, въ случаѣ надобности, стѣнка должна быть усилена ребрами, разумно расположенными (см. Бахъ „Детали Машинъ“).

В). Неправильная конструкція *крышекъ* и *затворовъ* для сосудовъ. О такихъ крышкахъ говорилось уже ранѣе, на стр. 396.

С). Выборъ *неподходящаго матеріала* для устройства сосуда или его принадлежностей. При выборѣ матеріала надобно руководствоваться тѣми же соображеніями, какъ и при устройствѣ трубъ.

Неправильность **ухода** за сосудомъ можетъ проявиться, прежде всего, въ поддержаніи въ немъ *ненадлежащаго давленія*.

Въ паровомъ котлѣ, на который смотрятъ все таки довольно серьезно и съ опаской, назначенное для него давленіе поддерживается непрерывнымъ наблюденіемъ со стороны кочегара и механика. Топка ведется (отъ руки или автоматически) сообразно потребленію пара, и предохранительный клапанъ, имѣющійся на всякомъ котлѣ, заботится о томъ, чтобы давленіе пара не подымалось выше назначеннаго наибольшаго. Какъ вещь, вообще, крупная, паровой котелъ привлекаетъ къ себѣ извѣстное вниманіе и за нимъ давно уже установилась репутація „опаснаго“, и его боятся и держатъ при немъ спеціальныхъ людей—кочегаровъ.

Совершенно иначе обстоитъ дѣло съ разнообразными „сосудами“, „аппаратами“, „сушильными цилиндрами“, „парильными кубами“ и пр., и пр. На такіе сосуды всѣ привыкли смотрѣть какъ на нѣчто совершенно обычное и безобидное, какъ на незначительную деталь, входящую иногда въ составъ очень сложной машины и крупнаго производства, или же, наоборотъ, какъ на маловажный сосудикъ, стоящій въ небольшой фабричкѣ. Его не боятся и объ немъ не заботятся. Такой сосудъ чаще всего назначается для варки или для сушки. Интересна его температура, а про давленіе пара мало и думаютъ и о поддержаніи необходимаго „давленія“ не заходитъ весьма часто и рѣчи. Даже если и думаютъ объ этомъ, то все таки средства, примѣняемыя въ такихъ случаяхъ для поддержанія въ „сосудѣ“ назначеннаго, вообще небольшого давленія, довольно примитивны. Обыкновенно давленіе въ паровомъ котлѣ, изъ котораго „сосуды“ заимствуютъ паръ, бываетъ гораздо выше, нежели то давленіе, при которомъ должны работать „сосуды“. Средствомъ для поддержанія въ сосудѣ назначеннаго малаго давленія являются часто просто *воля* и *вниманіе* рабочаго, который управляетъ вентилемъ, пускающимъ паръ изъ котла въ сосудъ, такъ, чтобы поддерживать нужное давленіе (а чаще—нужную для процесса температуру). Такимъ образомъ, въ зависимости отъ конденсаціи пара въ сосудѣ, происходящей, если отъ пара отнимается теплота для сушки и пр., въ зависимости отъ лучеиспусканія, отъ діаметра трубы, по которой паръ выходитъ изъ „сосуда“, если онъ не успѣлъ тамъ вполнѣ сконденсироваться, и пр., рабочій (парильщикъ и т. п., а не спеціальный кочегаръ) долженъ непрерывно управлять паропускнымъ вентилемъ. Достаточно ему зазѣваться или растеряться при сложныхъ условіяхъ работы — и давленіе весьма быстро повысится благодаря излишнему притоку пара; и взрывъ готовъ. Такихъ взрывовъ случается очень много.

Нѣкоторой гарантіей противъ излишняго повышенія давленія можетъ служить редукціонный вентиль, или клапанъ, поставленный между котломъ и сосудомъ. Это аппаратъ, который автоматически поддерживаетъ давленіе пара въ сосудѣ постояннымъ и меньшимъ, нежели въ котлѣ. Но и въ присутствіи редукціоннаго вентиля очень легко можетъ произойти быстрое повышеніе давленія и взрывъ, если случайно выпускная труба, уводящая изъ сосуда отработавшій паръ и воду, закупорится грязью, распариваемымъ товаромъ и пр., или же будетъ случайно закрыта рукою человѣка, если на ней есть вентиль. Поэтому, надежный *предохранительный клапанъ* **необходимъ**, собственно говоря, на ***всякомъ*** сосудѣ, въ которомъ работаетъ паръ для какой бы то ни было цѣли. И очень часто на подобныхъ сосудахъ въ дѣйствительности нѣтъ никакихъ предохранительныхъ клапановъ, на паропроводѣ къ нимъ нѣтъ редукціонныхъ клапановъ, нѣтъ даже манометра, по которому рабочій могъ бы видѣть, каково давленіе въ сосудѣ, и за выпускной трубой нѣтъ надежнаго ухода! Отсюда — масса взрывовъ, примѣры которыхъ приводимъ далѣе.

Относительно утоненія стѣнокъ вслѣдствіе разъѣданія или ржавленія ихъ достаточно подробно говорится въ курсахъ паровыхъ котловъ, и здѣсь входить въ подробности нѣтъ надобности. Очень хорошо вопросъ этотъ разработанъ въ курсѣ котловъ проф. А. П. Гавриленко.

Потеря непонимающими рабочими части болтовъ, привертывающихъ крышку какого нибудь парильнаго сосуда и т. п., иногда является причиною взрыва. Примѣръ этого, съ чертежами устройства, приведенъ въ Атласѣ Деталей Машинъ Худякова-Сидорова, часть 1, табл. 12, фиг. 22 (изданіе *четвертое*).

Неосторожность въ томъ, что примѣняютъ для извѣстной цѣли, въ роли закрытаго сосуда, въ которомъ будетъ поддерживаться давленіе пара, сосудъ, который назначался совсѣмъ для другихъ, менѣе серіозныхъ условій работы, встрѣчается нерѣдко; по непониманію, или для экономіи, водяной бакъ превращаютъ въ сосудъ, наполненный паромъ, и т. п.

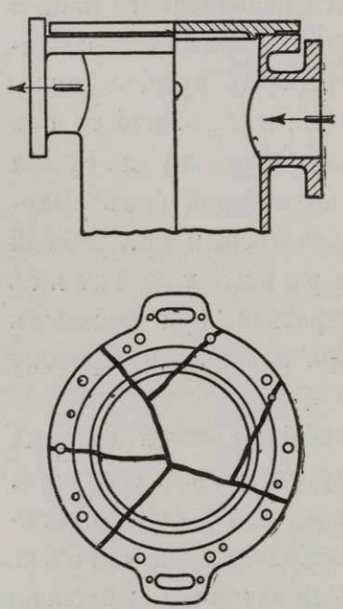
Англійская статистика взрывовъ даетъ хорошіе примѣры всѣхъ перечисленныхъ случаевъ и въ виду ея высокой поучительности мы здѣсь приведемъ краткое перечисленіе взрывовъ сосудовъ въ Англіи за время съ 1897 по 1910 годъ.

§ 120. Случаи взрывовъ сосудовъ съ паромъ по отчетамъ Board of Trade.

№ 968.— Изломъ чугунной нижней загрузочной дверцы красильнаго куба. Три человѣка убито. Давленіе пара — до 60—80 фунтовъ. Чугунъ здѣсь недопустимъ.

№ 969.— Взрывъ котла для варки тряпья на бумажной фабрикѣ. Семь человѣкъ ранено. Котелъ клепаный, желѣзный, цилиндрическій. Причины взрыва — порча редукціоннаго клапана и слишкомъ малый по котлу діаметръ предохранительнаго клапана (діаметръ котла — 7 футъ, длина — $13^1/_2$ футъ; діаметръ предохранительнаго клапана — два дюйма).

№ 1009.— Чугунная крышка паросушителя въ 15 дюймовъ діаметромъ изломана въ куски (чер. 275). Эта крышка поставлена была взамѣнъ прежней, сломавшейся ранѣе, и была разыскана среди стараго хлама на сосѣднемъ дворѣ котельнаго завода. Причина взрыва—слабость плоской крышки для давленія въ 130 фунтовъ.



Чер. 275.

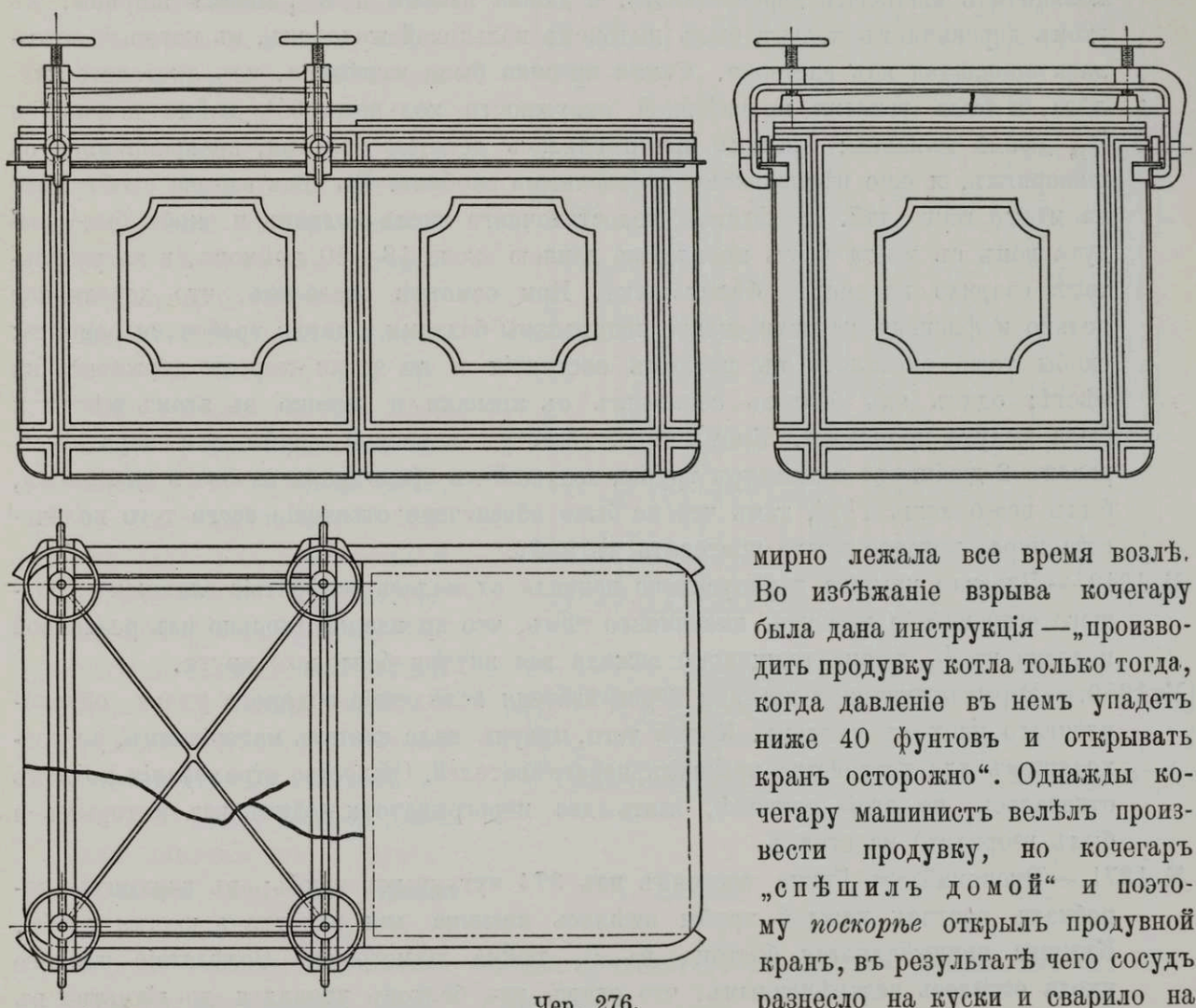
№ 1010.— Оторвана крышка продувного вентиля котла, прикрѣплявшаяся четыремя желѣзными шпильками 1 дюймъ въ діаметрѣ. Шпильки были сильно съѣдены и давно не осматривались. Рекомендуютъ для подобныхъ случаевъ бронзовыя шпильки.

№ 1023.— Результатъ превращенія водяной цистерны въ красильный котелъ! Одинъ человѣкъ убитъ, двое тяжело ранено. Вслѣдствіе жалобъ на вонь, происходившую отъ кипяченія волоса съ различными химическими веществами въ открытомъ сосудѣ, рѣшили сдѣлать новый сосудъ, закрытый, купили по сосѣдству на заводѣ чугунную цистерну (чер. 276) отъ воды, имѣющую видъ ящика съ плоскими стѣнками, придѣлали къ ней крышку (плоскую же) и поставили редукціонный вентиль (давленіе въ котлѣ—80 фунтовъ, въ сосудѣ желали имѣть 10 фунтовъ). Размѣры бака: $9 \times 5 \times 4{,}5$ фута; толщина стѣнокъ— $^1/_2$ дюйма. Крышекъ двѣ рядомъ: одна — плоская, $^5/_8$ дюйма толщиною, другая— съ ребрами, вышиною отъ $2^1/_4$ до $2^3/_4$ дюйма; прокладка — квадратная, азбестовая, $^3/_4$ дюйма. На сосудѣ поставили предохранительный клапанъ въ $1^1/_2$ дюйма діаметромъ, нагруженный для давленія въ 10 фунтовъ. Причиной взрыва является слабость крышки и неравномѣрное затягиваніе винтовъ. Подобные чугунные сосуды вовсе не должны быть допускаемы въ роли паровыхъ сосудовъ.

№ 1102.— Взрывъ чугуннаго сосуда, назначеннаго для сушки, имѣвшаго форму прямого параллелипипеда, съ размѣрами $6'2^1/_2'' \times 1'10'' \times 3''$; толщина стѣнокъ—отъ $^1/_2$ до $^3/_8''$, у концовъ—$^3/_4$ дюйма. Давленіе въ котлѣ равно 70 фунтамъ; во время взрыва давленіе не превосходило 40 фунтовъ. На сосудѣ не было ни манометра, ни предохранительнаго клапана, а на выпускной трубѣ изъ него какъ разъ былъ вентиль, который и оказался закрытымъ, вслѣдствіе чего сосудъ подвергся полному давленію

котла, и хотя оно не превосходило 40 фунтовъ, но сосудъ и на такое давленіе расчитанъ не былъ и поэтому разлетѣлся въ куски.

№ 1184.— На продувной трубѣ, ведущей отъ продувнаго крана котла къ трубѣ, уводящей воду изъ машинъ, былъ поставленъ, неизвѣстно зачѣмъ (это очень мило!), сосудъ въ видѣ ящика, съ размѣрами 2′4″ × 2′4″ × 3′, толщина плоскихъ стѣнокъ— отъ $^5/_8$ до $^3/_4$″. На ящикѣ, какъ говорятъ, была открытая выкидная труба, высотою около 8 футъ, служившая для того, чтобы давленіе въ немъ не могло подняться выше предѣла, опредѣляемаго высотою такого столба воды, но труба эта оказалась послѣ взрыва лежащею возлѣ сосуда и неповрежденною, и является большое сомнѣніе въ томъ—была ли она дѣйствительно поставлена на ящикѣ, или



Чер. 276.

мирно лежала все время возлѣ. Во избѣжаніе взрыва кочегару была дана инструкція —„производить продувку котла только тогда, когда давленіе въ немъ упадетъ ниже 40 фунтовъ и открывать кранъ осторожно“. Однажды кочегару машинистъ велѣлъ произвести продувку, но кочегаръ „спѣшилъ домой“ и поэтому *поскорѣе* открылъ продувной кранъ, въ результатѣ чего сосудъ разнесло на куски и сварило на смерть самого кочегара.

Случай безъ номера (изъ частнаго разсказа).— Цилиндрическій бакъ 66 дюймовъ діаметромъ и 30 футъ длиною, служившій для храненія нефти, превратили затѣмъ въ поверхностный холодильникъ. Для „надежности“ сосудъ рѣшили опробовать паромъ и, напустивши въ него пару до давленія въ 20 фунтовъ, заперли затѣмъ паровую трубку и ушли обѣдать. А на бѣду, какъ картинно выражается разсказчикъ, „былъ чудный Апрѣльскій день, какъ вдругъ изъ отдѣльнаго облачка пошелъ обычный Апрѣльскій дождикъ“. Дождь продолжался не болѣе одной минуты, но и этого оказалось достаточнымъ для того, чтобы паръ внутри сосуда сконденсировался; въ сосудѣ образовалась пустота—и его сплющило въ лепешку на всей длинѣ въ 30 футъ, а оба днища были согнуты и сломаны. Толщина желѣзныхъ стѣнокъ была $^3/_{16}$ дюйма.

№ 1206.— Взрывъ цилиндрическаго отбѣльнаго куба; діаметръ — 6′ 2″, высота — 6′ 1″. Кубъ стоялъ вертикально. На немъ были два предохранительныхъ клапана, каждый

$1^{3}/_{16}''$ діаметромъ, нагруженные на давленіе въ 10 фунтовъ; давленіе въ котлѣ— 100 фунтовъ; на трубѣ, ведущей изъ котла въ кубъ, находились: редукціонный вентиль на 45 фунтовъ и предохранительный клапанъ на 45 фунтовъ. Манометра не имѣлось, и о давленіи внутри куба судили такимъ образомъ, что приподымали предохранительный клапанъ и „на глазъ“ (это тоже очень мило!!) судили о давленіи и сообразно этому „с у ж д е н і ю“ управляли паропускнымъ вентилемъ. Никакого надзора со стороны компетентнаго лица за кубомъ не было, и никогда никакой Инспекторъ Общества надзора за котлами его не осматривалъ. Причина взрыва— неправильная конструкція крышки куба. Вокругъ верхней оконечности куба былъ приклепанъ флянецъ изъ углового желѣза; къ этому флянцу было привернуто кольцо изъ ильмоваго дерева (вязъ), 2 дюйма высоты и $3^{3}/_{4}$ дюйма ширины; въ этомъ деревянномъ кольцѣ былъ выточенъ кольцевой желобокъ, въ который ложилась прокладка изъ плетенки. Самая крышка была желѣзная, изъ листового желѣза, и была усилена на внѣшней окружности кольцомъ $3^{1}/_{2}$ дюйма ширины и $^{7}/_{16}$ дюйма толщины; крышка прикрѣплялась десятью болтами, вращавшимися на шкворняхъ, и еще нѣсколькими добавочными скобами. Въ день взрыва скобъ было на мѣстѣ всего двѣ. Вслѣдствіе недостаточнаго числа болтовъ и скобъ была выдута вонъ съ мѣста часть прокладки, длиною около 18—20 дюймовъ, и въ результатѣ сварило на смерть бѣлильщика. При осмотрѣ оказалось, что деревянное кольцо и флянецъ крышки сильно исцарапаны болтами и давно требовали ремонта; скобы тоже оказались въ плохомъ состояніи и не могли хорошо держаться на мѣстѣ; одинъ изъ болтовъ соскочилъ съ крышки и именно въ этомъ мѣстѣ и была выдута прокладка. Кромѣ того, діаметръ впускной трубы для пара былъ равенъ 2 дюймамъ, а діаметръ трубы, ведущей къ предохранительнымъ клапанамъ, былъ всего лишь $1^{1}/_{4}''$, такъ что не было обезпечено отведеніе всего того количества пара, которое могло притекать въ кубъ.

№ 1212.— Плоская крышка паропускного вентиля сломалась вслѣдствіе слишкомъ большого сгибающаго момента, вызваннаго тѣмъ, что прокладка (кольцо изъ резиновой полоски въ $^{1}/_{8}$ дюйма толщиною) лежала вся внутри болтового круга.

№ 1350.— Взрывъ чугунной крышки перегрѣвателя вслѣдствіе водяного удара, обусловленнаго плохимъ уходомъ. Кромѣ того, чугунъ надо считать матеріаломъ, не подходящимъ для устройства крышекъ перегрѣвателей. Общество страхованія котловъ отказалось, по этой причинѣ, взять два перегрѣвателя (одинъ изъ которыхъ и былъ взорванъ) на страхъ.

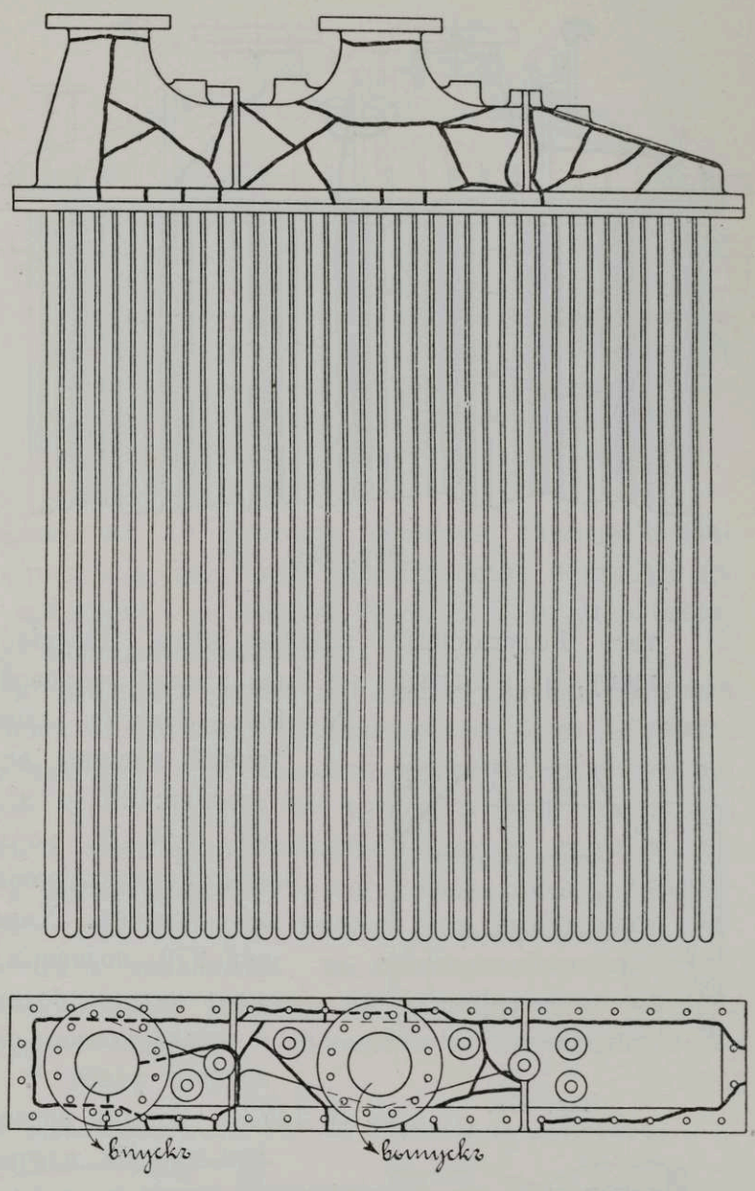
№ 1371.— Экономайзеръ Грина состоялъ изъ 374 чугунныхъ трубъ; въ верхнихъ коробкахъ противъ каждой трубы имѣлась крышка для осмотра и чистки трубъ. Крышка прикрѣпляется болтомъ въ $^{7}/_{8}$ дюйма діаметромъ. Вслѣдствіе плохого ухода осталось незамѣченнымъ, что одинъ изъ болтовъ утонился до діаметра въ $^{3}/_{8}$ дюйма и вдругъ разорвался; при этомъ было убито два человѣка. Инспекторъ находитъ, что экономайзеры требуютъ еще бо́льшаго вниманія, нежели сами паровые котлы, и должны осматриваться періодически по крайней мѣрѣ одинъ разъ въ годъ, причемъ осмотру должны подвергаться всѣ трубки. Заводъ, изготовившій экономайзеръ, не согласился съ этимъ (надо удивляться „храбрости“ этого завода!).

№ 1376.— Чугунный сушильный цилиндръ машины для изготовленія обоевъ, діаметромъ $5'^{1}/_{2}''$ и длиною $4'\,6''$, толщина $^{1}/_{2}''$, взорванъ вслѣдствіе того, что на немъ не было ни манометра, ни предохранительнаго клапана. Давленіе въ котлахъ было 95 фунтовъ, а въ цилиндрѣ полагалось держать 10 фунтовъ, и онъ былъ опробованъ на 20 фунтовъ.

№ 1377.— Взрывъ чугунной верхней коробки перегрѣвателя (изломана на мелкіе куски, какъ видно на чер. 277). На коробкѣ имѣлся предохранительный клапанъ на давленіе въ 160 фунтовъ, но онъ во время взрыва оказался испорченнымъ и не дѣйствовалъ. А такъ какъ перегрѣватель былъ разобщенъ и съ котломъ и съ па-

ропроводомъ, то давленіе въ перегрѣвателѣ сильно повысилось и крышку взорвало. Самая крышка была конструирована слишкомъ слабо, подобно тому, какъ и въ случаѣ № 1350.

№ 1380.—Взрывъ паровой чугунной въ формѣ ящика коробки въ запарной машинѣ. Ранило мастера. Причина взрыва—слабость стѣнокъ и отсутствіе манометра и предохранительнаго клапана.



Чер. 277.

При постановкѣ на мѣсто всѣхъ подобныхъ коробокъ желательно изслѣдованіе толщины стѣнокъ путемъ сверленія въ нихъ дыръ (подробный отчетъ о судебномъ разбирательствѣ этого дѣла, весьма интересный, можно найти въ журналѣ The Practical Engineer, 1903 г., Novemb. 27, стр. 522). Имѣлся редукціонный вентиль, для пониженія давленія съ 50 фунтовъ до 10, но онъ, повидимому, не дѣйствовалъ. Главной причиной взрыва явился сносъ стержня при отливкѣ, вслѣдствіе чего верхняя плоская стѣнка вышла слишкомъ тонкой, а нижняя — толстой. Одинъ изъ экспертовъ нашелъ на судѣ коробку слабой даже для давленія въ 2 фунта. Толщина верхней стѣнки мѣнялась отъ $^1/_4''$ до $^5/_{16}''$, а многіе эксперты заявили, что для давленія въ 10 фунтовъ наименьшая безопасная толщина должна быть $^9/_{16}$ дюйма *.

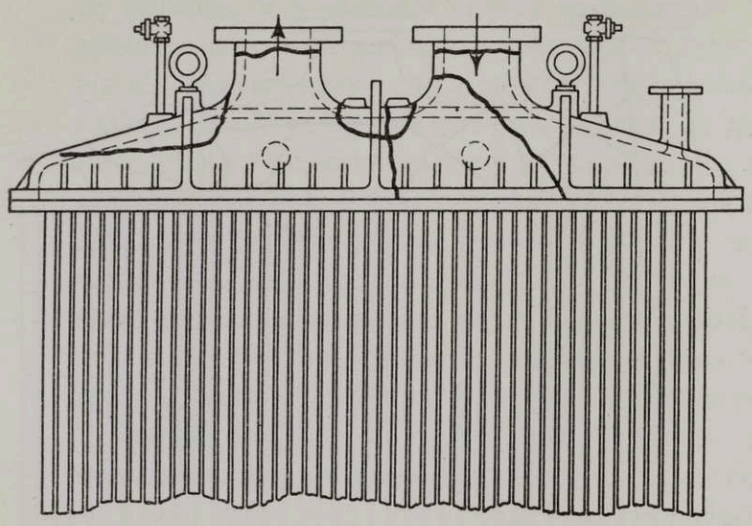
№ 1409.—Взрывъ крышки перегрѣвателя. Крышка отлита изъ особой спеціальной смѣси чугуна и стали. Аппаратъ новый—всего 3 мѣсяца въ работѣ, испытанъ гидравлическимъ давленіемъ въ 400 фунтовъ на □ дюймъ. Причина взрыва—водяной ударъ и плохое качество матеріала крышки. Рабочій персоналъ не былъ достаточно освѣдомленъ о томъ, какъ слѣдуетъ обращаться съ аппаратомъ. Изломъ показанъ на чер. 278.

№ 1421.—Изломъ бронзоваго болта, прикрѣплявшаго поперечный брусокъ, въ который вдѣлана гайка нажимного винта, служащаго для нажима крышки пивного котла. Употребленіе для болтовъ литого непрокованнаго металла слѣдуетъ считать нераціональнымъ.

---

* да и то въ зависимости отъ размѣровъ стѣнки, прибавлю отъ себя. По приблизительному расчету, при средней толщинѣ стѣнки въ $^9/_{32}''$ (7 миллиметровъ), ширинѣ ея въ 14″ и длинѣ въ 72″, напряженіе въ ней на изгибъ будетъ, при давленіи въ 10 фунтовъ на □ дюймъ, около 8 kg/□ mm.

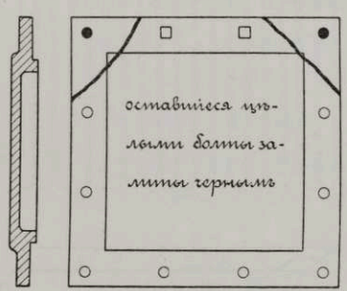
№ 1434.— Взрывъ чугунной камеры въ запарной машинѣ. Причина взрыва — недостаточно внимательное наблюденіе за поддержаніемъ надлежащаго давленія и плохое качество матеріала (чугунъ и болты).



Чер. 278.

№ 1441.— Взрывъ чугуннаго кипятильнаго сосуда въ формѣ параллепипеда, состоящаго изъ двухъ ящиковъ, между которыми пускался для нагрѣванія паръ. Взрывъ произошелъ отъ того, что по небрежности всѣ ушли отъ сосуда, а *паропускной вентиль не закрыли*, и давленіе значительно превысило тѣ 10 фунтовъ, которые полагалось держать въ паровомъ пространствѣ сосуда. Давленіе въ котлѣ—80 фунтовъ. Редукціоннаго клапана нѣтъ. Плоскія стѣнки имѣли слишкомъ малую толщину, да и отливка не была вполнѣ здоровой.

№ 1461. — Изломъ угловъ крышки коробки шахтной подъемной машины вслѣдствіе водяного удара. Размѣры крышки: $20'' \times 19\frac{3}{4}'' \times \frac{3}{4}''$, 12 болтовъ въ $\frac{3}{4}''$. Давленіе пара въ котлѣ — 80 фунтовъ, передъ машиной стоитъ редукціонный вентиль, понижающій давленіе до 20 фунтовъ. Характерно направленіе линій излома, чер. 279, подтверждающее извѣстное правило—*не ставить никогда болтовъ на углахъ крышекъ квадратной и прямоугольной формы*. Первичная причина поломки— водяной ударъ *.



Чер. 279.

№ 1477.— Взрывъ пресса для трикотажныхъ товаровъ. Полыя плоскія плиты нагрѣвались паромъ; не было ни манометра, ни редукціоннаго вентиля, паръ пускали въ прессъ вентилемъ, а выпускали изъ него краномъ, и давленіе въ прессѣ регулировали тѣмъ, что выпускной кранъ открывали „на одну четверть“. Въ результатѣ—повышеніе давленія пара до давленія котла (60 фунтовъ) и взрывъ, такъ какъ выпускной кранъ оказался вполнѣ закупореннымъ грязью, хотя и былъ открытъ не на „одну четверть“, а вполнѣ.

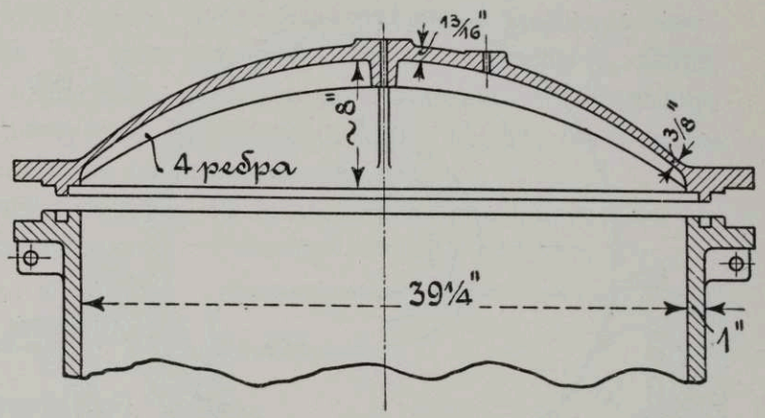
№ 1482.— Взрывъ мѣднаго котла на пивоваренномъ заводѣ. Такъ какъ котелъ работалъ болѣе 30 лѣтъ и не подвергался ни разу надлежащему осмотру, то дно его сильно утонилось и произошелъ взрывъ.

№ 1487.— Цилиндрическій чугунный котелъ съ полусферическимъ дномъ и чугунною крышкою съ ребрами (чер. 280) служилъ для варки дохлыхъ лошадей и пр. животныхъ въ цѣляхъ изготовленія удобренія. Крышка выпуклая, чугунная; стрѣла выпуклости — около 8 дюймовъ. Конструкція крышки крайне странная — толщина

---

* Многочисленные поучительные примѣры поломокъ плоскихъ стѣнокъ въ паровыхъ машинахъ можно найти въ Русскомъ изданіи сочиненія Хедера „Больная паровая машина“ (въ моемъ переводѣ съ дополненіями).

у центра равна $^{13}/_{16}$ дюйма, а на наружной окружности — всего $^{3}/_{8}$ дюйма. На крышкѣ имѣется четыре внутреннихъ ребра. На крышкѣ стоялъ манометръ, но не дѣйствовалъ. Котлу 18 лѣтъ. Свѣдущимъ лицомъ котелъ никогда не осматривался. Давленіе въ котлѣ держалось около 40 фунтовъ.

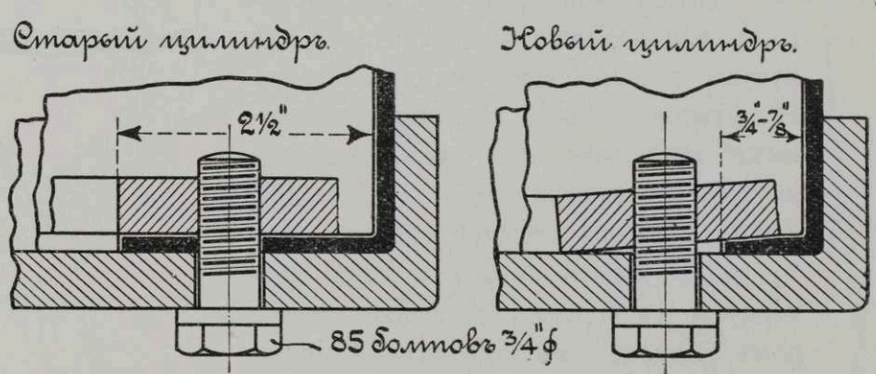


Чер. 280.

Взрывъ этого котла произошелъ вслѣдствіе поломки крыши. Нелѣпая форма крышки, съ утоненіемъ отъ центра къ окружности, причинила появленіе значительныхъ напряженій при отливкѣ; далѣе, толщина крышки слишкомъ мала для давленія въ 40 фунтовъ; наконецъ, помѣщеніе прокладки въ выточкѣ, внутри болтового круга, также способствовало появленію въ крышкѣ большихъ сгибающихъ моментовъ отъ затяжки болтовъ. Надо удивляться, что крышка жила 18 лѣтъ, а не сломалась раньше.

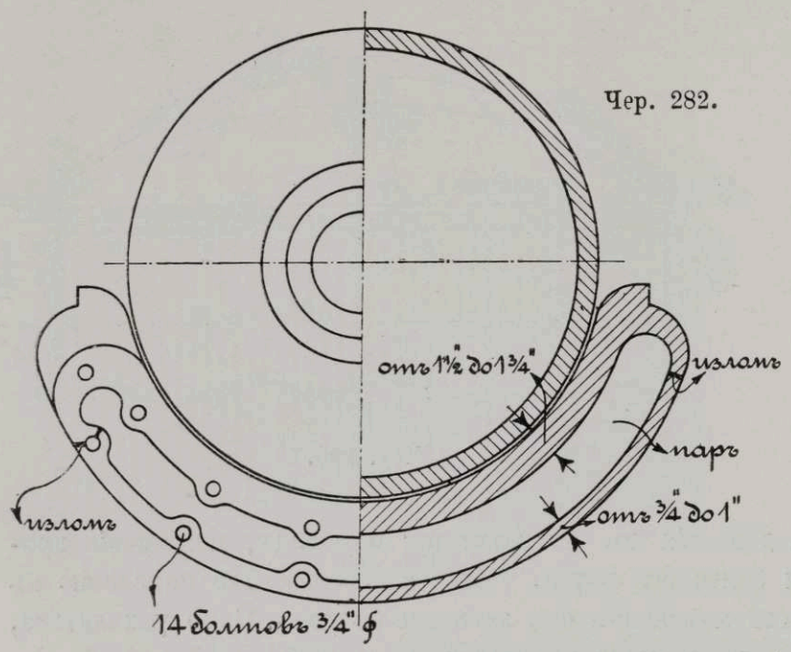
№ 1549.— Взрывъ мѣднаго котла съ двойнымъ дномъ для варки варенія. Причина взрыва — небрежность въ обращеніи съ котломъ; работницамъ не было внушено, по поэтическому выраженію Инспектора, „объ опасности обращенія съ такою могущественною и коварною силою, какъ паръ“, за что хозяева и были присуждены къ уплатѣ судебныхъ издержекъ въ размѣрѣ ста рублей (10 фунтовъ стерлинговъ).

№ 1555.— Настоящій случай можетъ служить примѣромъ того, какъ „конструируютъ“ нѣкоторые „заводы“. Для сушки коленкора имѣлся рядъ сушильныхъ мѣдныхъ цилиндровъ. Одинъ изъ этихъ цилиндровъ, въ противоположность всѣмъ прочимъ, не имѣлъ ни предохранительнаго клапана, ни регулирующаго вентиля, но зато питался паромъ „высокаго давленія“. Манометръ на цилиндрѣ былъ. Вслѣдствіе уширенія изготовляемой ткани понадобилось уширить и этотъ сушильный цилиндръ на цѣлый футъ, и сосѣднему съ фабрикой заводу нѣкоего Г-на Ригби былъ заказанъ новый цилиндръ, при изготовленіи котораго предлагалось воспользоваться, по возможности, остатками стараго (дномъ его и пр.); новый цилиндръ долженъ былъ выдерживать рабочее давленіе въ 10 фунтовъ. Никакихъ спецификацій установлено не было, и даже не уговорились о цѣнѣ, а заказали „на совѣсть“. Мистеръ Ригби изготовилъ новый цилиндръ очень оригинально. На чер. 281 показана конструкція концовъ стараго и новаго цилиндровъ. Какъ видно, въ старомъ цилиндрѣ концы цилиндрической части загнуты въ видѣ закраины въ $2^{1}/_{2}$ дюйма шириною, которая зажата между внутреннимъ кольцомъ и наружной крышкой при помощи шуруповъ, проходящихъ сквозь эту отложенную мѣдную закраину. Мистеръ Ригби счелъ это излишнимъ и отложилъ закраину шириною всего отъ $^{3}/_{4}$ до $^{7}/_{8}$ дюйма, такъ что болты оказались *внѣ ея*,



Чер. 281.

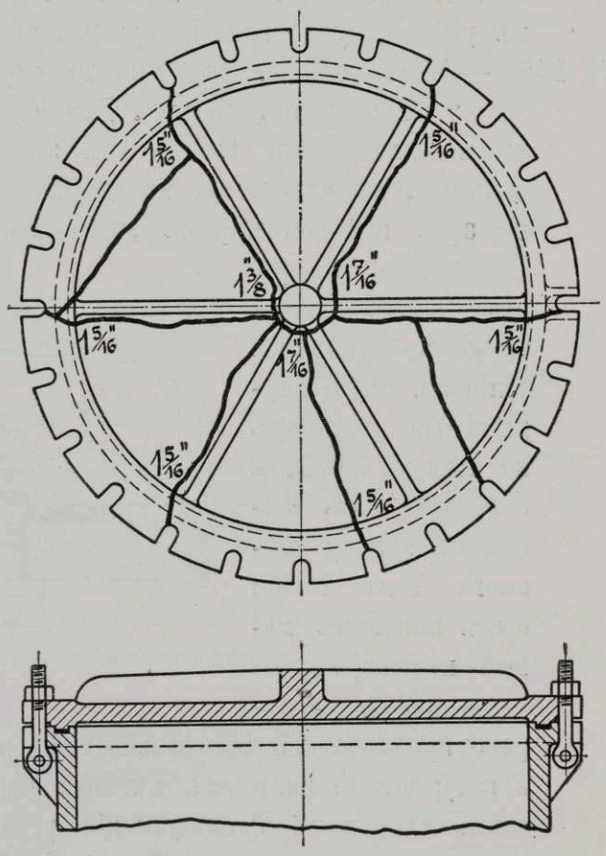
какъ видно на чертежѣ, и внутреннее кольцо, конечно, перекосилось. Для того, чтобы поправить дѣло, мѣстами былъ положенъ слой сурика **толщиною чуть не въ толщину самого мѣднаго листа.** Въ результатѣ такой „хорошей“ конструкціи новый цилиндръ *сразу же взорвало* и убило человѣка. Вслѣдствіе повышенія давленія выше нормы средина цилиндра раздулась наподобіе бочки и отложенные концы его были буквально вытащены изъ того мѣста, гдѣ они были зажаты между внутреннимъ кольцомъ и наружной крышкой, такъ какъ ширина запуска была очень мала. Нѣкоторые шурупы, свертывавшіе эти части, оказались очень слабо затянутыми. По судебному приговору М-ръ Ригби заплатилъ *500 рублей* эксперту Board of Trade за экспертизу *.



Чер. 282.

№ 1562.— Взрывъ мѣднаго сахарнаго котла съ двойнымъ дномъ для нагрѣванія паромъ. Котелъ могъ выдерживать безопасно давленіе не свыше 50 фунтовъ, а подвергался давленію въ 120 фунтовъ. При заказѣ его заводчикамъ не было указано рабочее давленіе, на которое они должны были расчитать котелъ, и заводчики также не нашли нужнымъ спросить объ этомъ (тоже очень мило и напоминаетъ во многомъ наши родные порядки!!).

№ 1569.— Изломъ каландра, чер. 282. Основаніе или подушка вальца отлито изъ чугуна и опробовано на давленіе въ 70 фунтовъ. Длина его, между конечными крышками — 9 футъ, толщина внутренней стѣнки — отъ $1^1/_2$ до $1^3/_4$ дюйма, толщина внѣшней стѣнки — отъ $^3/_4$ до 1 дюйма. Концевыя крышки привернуты 14 болтами $^3/_4$ дюйма діаметромъ. Давленіе въ подушкѣ—45 фунтовъ, а въ каландрѣ (роликѣ)—10 фунтовъ. Причина излома подушки—неравномѣрное расширеніе вслѣдствіе различной толщины верхней и нижней частей и вызванное этимъ переутомленіе металла. Слѣдовало аппаратъ чаще подвергать гидравлической пробѣ.



Чер. 283.

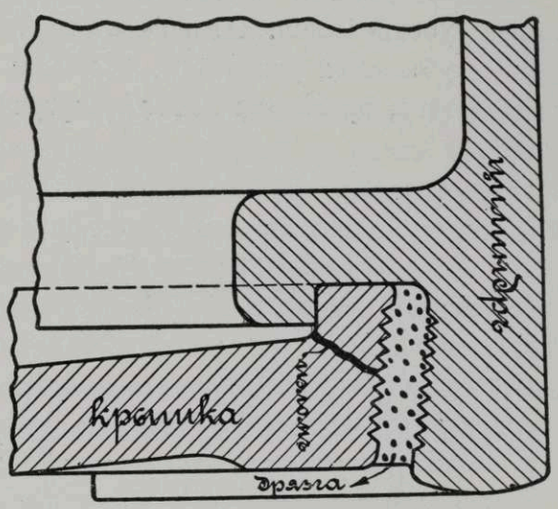
№ 1576.— Изломъ чугунной крышки котла для варки костей. Редукціонный вентиль не работалъ, а предохранительнаго клапана не было. Давленіе въ котлѣ — 100 фун-

* Эта цифра является весьма поучительною, если сравнить ее съ тѣмъ, что̀ предлагаетъ своимъ экспертамъ (которыхъ даже не спрашиваютъ о томъ, желаютъ ли они принять участіе въ дѣлѣ

товъ; во время взрыва было около 57 фунтовъ. Прокладка между крышкой и котломъ состояла изъ пеньковаго жгута $^5/_8$ дюйма діаметромъ, смоченнаго жидкимъ желатиномъ, и помѣщалась въ выточкѣ, внутри болтового круга, чер. 283.

№ 1608.— Крышка отбѣльнаго цилиндрическаго куба была оторвана благодаря тому, что 16 болтовъ, прикрѣплявшихъ ее, были изъѣдены, и изъ болтовъ $^7/_8$ дюйма діаметромъ превратились, послѣ перерѣзки, въ болты съ діаметромъ въ $^3/_4$ дюйма, да и у тѣхъ рѣзьба была уже попорчена. Кромѣ того, болты вообще были слабы для сопротивленія полному давленію на площадь крышки.

№ 1632.— Въ машинѣ для сушки бумаги имѣлось 12 вращающихся цилиндровъ, къ которымъ за 6 лѣтъ до взрыва прибавили еще четыре. Одинъ изъ этихъ новыхъ чугунныхъ цилиндровъ и былъ взорванъ. Наружный діаметръ цилиндра — 4′, длина—около 7′ 8″. Въ прежнихъ цилиндрахъ дно прикрѣплено къ цилиндрамъ болтами, въ новыхъ — вставлено на ржавой замазкѣ (дрязгѣ), чер. 284. Такое измѣненіе въ конструкціи сдѣлано было для того, чтобы изъ цилиндра не просачивалась бы вода и не портила бумаги. Причина взрыва — колебанія давленія въ цилиндрѣ и переутомленіе металла вслѣдствіе вибрацій крышекъ. Редукціоннаго клапана не было, предохранительный на 25 фунтовъ—былъ. Давленіе въ котлѣ—70 фунтовъ.

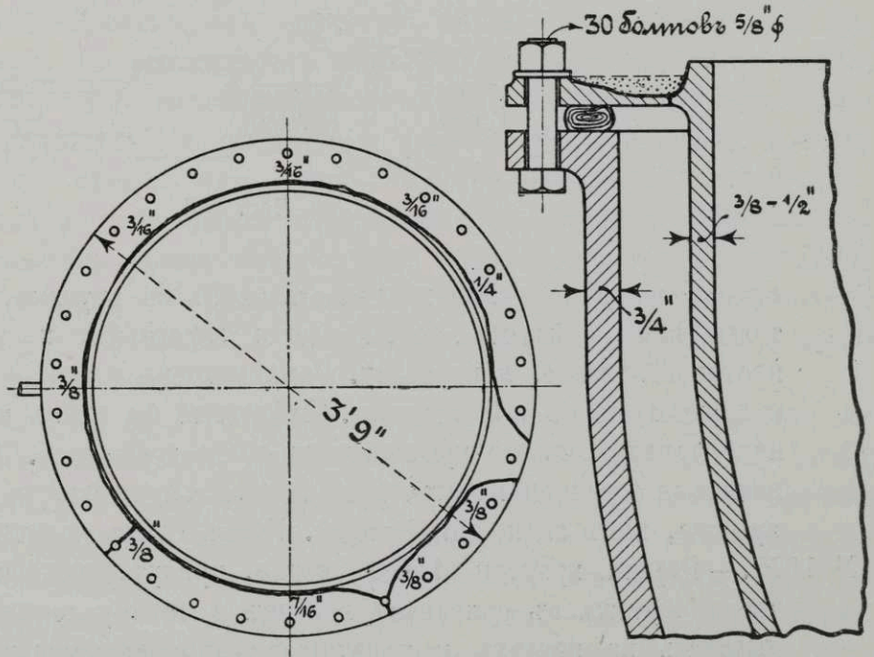


Чер. 284.

Послѣ взрыва поставили редукціонный вентиль на 25 фунтовъ и предохранительный клапанъ сдѣлали діаметромъ въ 3 дюйма вмѣсто прежняго діаметра въ $1^1/_2$ дюйма.

№ 1639.— Флянецъ чугуннаго котла для варки корма былъ въ теченіи 26 лѣтъ, за которыя котелъ ни разу не подвергался осмотру свѣдущимъ лицомъ, изъѣденъ на столько (чер. 285), что сломался, какъ видно на чертежѣ. Давленіе въ паровой оболочкѣ котла—35 фунтовъ.

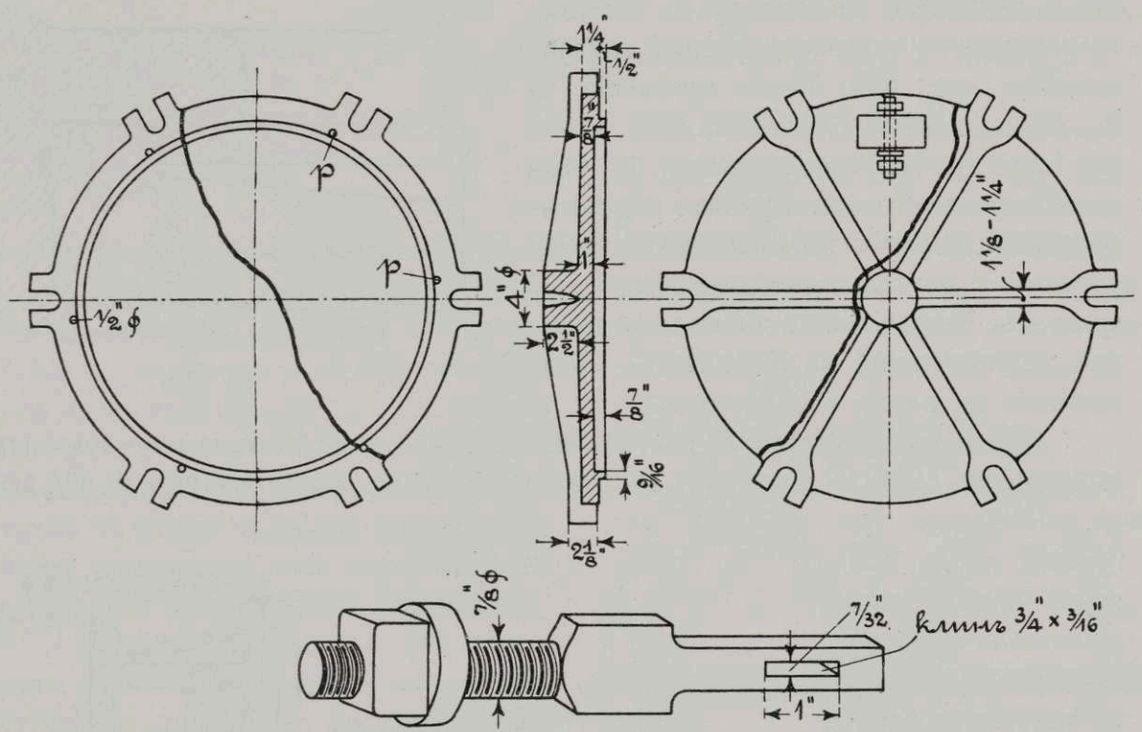
Флянецъ изъѣло вліяніемъ атмосферы, такъ какъ котелъ стоялъ подъ открытымъ небомъ.



Чер. 285.

и во сколько цѣнятъ свою работу, а прямо тащатъ по повѣсткѣ черезъ полицію въ судъ) *Русскій* судъ, который за двух- или трехкратный вызовъ въ камеру слѣдователя, сопряженный съ производствомъ расчетовъ на дому, предлагаетъ иногда вознагражденіе въ двадцать пять рублей! Оцѣнку техническихъ знаній и труда экспертовъ давно бы не мѣшало у насъ поднять на высоту, подобающую важности техники въ современной жизни.

№ 1666.—Цилиндрическій клепаный котелъ для варки дерева имѣлъ діаметръ въ $26^3/_8$ дюйма и длину въ 13 футъ 7 дюймовъ. Котелъ закрывался чугунною плоскою крышкою съ ребрами (чер. 286), которая сперва прикрѣплялась шестью откидными болтами на шарнирахъ, но впослѣдствіи сохранился только одинъ изъ этихъ болтовъ, а остальные пять были замѣнены болтами съ головкой посрединѣ и клиномъ, чер. 286; клинъ притягивалъ головку къ флянцу котла, а гайка притягивала затѣмъ крышку. Форма и размѣры крышки видны на чертежѣ. Прокладка состояла изъ ленты, замотанной вокругъ шести пробочекъ *p*, *p* изъ дерева, діаметромъ въ $^1/_2$ дюйма, вставленныхъ въ дырочки. Котелъ работалъ 18 лѣтъ, но сдѣланъ былъ за 32 года передъ взрывомъ, такъ что 14 лѣтъ лежалъ безъ употребленія. Давленіе въ котлѣ — 90 фунтовъ, и для такого давленія, какъ легко убѣдиться расчетомъ, болты, и въ особенности клинья—слишкомъ слабы. Кромѣ того, прокладка лежала внутри болтовъ, да еще и затягивали болты рабочіе *со-*



Чер. 286.

вершенно неумѣло—всѣ подрядъ одинъ за другимъ, отчего получался перекосъ, тогда какъ слѣдуетъ болты всегда затягивать попарно, именно—діаметрально противоположные, и не сразу. Сама крышка тоже слаба на изломъ и ребра расположены не съ той стороны. Слѣдовало бы имѣть крышку желѣзную. И то надо удивляться, что крышка такъ долго держалась. При взрывѣ были разрушены клиновыя соединенія двухъ болтовъ (срѣзало клинья) и была переломлена пополамъ крышка, какъ видно на чертежѣ. Убитъ одинъ человѣкъ.

№ 1672.—Взрывъ крышки пивного котла, прикрѣплявшейся при помощи винтового затвора (чертежъ въ оригиналѣ неясенъ и потому детали опускаемъ). Крышка откидывалась на петляхъ и прижималась упиравшимся въ центръ ея сильнымъ винтомъ, гайка коего помѣщалась въ перекладинѣ, державшейся на двухъ болтахъ. Вслѣдствіе слабой конструкціи болты были разорваны. Болты были изъ стальнаго литья, и употребленіе такихъ болтовъ изъ непрокованнаго металла (подобно бронзовымъ болтамъ № 1421) должно быть признано опаснымъ.

№ 1743.—Взрывъ сушильнаго цилиндра для полотна вслѣдствіе отсутствія на немъ предохранительнаго клапана и передъ нимъ—редукціоннаго.

№ 1779.—Изломъ тѣла чугуннаго сепаратора кругомъ возлѣ флянца вслѣдствіе значи-

тельныхъ изгибающихъ моментовъ, вызванныхъ тѣмъ, что прокладочное кольцо лежитъ внутри болтового круга.

№ 1780.— Взрывъ котла для варки сахара вслѣдствіе закупорки маленькой трубочки, уводившей воду изъ пространства между двумя днами. Другихъ средствъ для регулированія давленія, кромѣ этой трубочки—не было.

№ 1789.— Взрывъ парового нагрѣвательнаго ящика. Редукціонный клапанъ испортился, а предохранительнаго—не было.

№ 1790.— Взрывъ экономайзера, состоящаго изъ 128 чугунныхъ трубъ. Входъ и выходъ водѣ были прекращены (заперты вентили), а горячіе газы продолжали нагрѣвать экономайзеръ, который превратился, слѣдовательно, въ котелъ; предохранительный клапанъ оказался перегруженнымъ, а манометра не было. Взрывъ былъ очень сильный.

№ 1791.— Взрывъ котла для вулканизированія. Котелъ сдѣланъ изъ стараго сухопара отъ парового котла. Крышка котла оказалась слишкомъ слабой и прокладка между нею и флянцемъ лежала вся внутри болтового круга. Предохранительнаго клапана не было, а низкое давленіе въ котлѣ поддерживали на глазъ, регулируя впускъ и выпускъ пара. Отъ повышенія давленія произошелъ взрывъ.

№ 1792.— Взрывъ чугуннаго бака для растапливанія сала, въ которое погружались отливки и мелкія части передъ упаковкой. Предохранительнаго клапана не было (именно на одномъ этомъ бакѣ; на всѣхъ остальныхъ такихъ же бакахъ они имѣлись) и редукціоннаго вентиля—тоже не было. Давленіе въ котлѣ—80 фунтовъ, а въ бакѣ предполагалось держать не болѣе 15.

№ 1777.— Взрывъ желѣзнаго ящика на продувной трубѣ изъ нѣсколькихъ котловъ. Діаметръ впускной трубы въ ящикъ, ведущей воду изъ котловъ—2 дюйма, діаметръ выпускной трубы—тоже два дюйма; никакихъ приспособленій для ограниченія давленія въ ящикѣ—нѣтъ (очевидно, предполагали, что сквозь ящикъ будетъ идти только „вода“); лишь на выпускной трубѣ имѣлась вентиляціонная трубка (безполезная, такъ она была поставлена не на самомъ бакѣ, а на узкой трубѣ). Случилось такъ, что продувной кранъ одного изъ котловъ былъ открытъ для продувки и *заѣлъ*, такъ что его не могли закрыть; всю воду изъ котла выдуло въ трубы и бакъ, и въ этомъ послѣднемъ, вслѣдствіе того, что пару некуда было выходить, давленіе сравнялось съ давленіемъ котла и бакъ взорвало, причемъ убило трехъ человѣкъ и нѣсколькихъ ранило. Размѣры бака: $7' \times 3' \times 5' 9''$.

№ 1812.— Сушильный цилиндръ для пряжи, сдѣланный изъ луженыхъ стальныхъ листовъ, взорвало вслѣдствіе износа стѣнокъ отъ постояннаго тренія о сушимый матеріалъ. Діаметръ цилиндра—7 футъ, длина—4 фута 11 дюймовъ, первоначальная толщина стѣнокъ—0,048 дюйма, а послѣ взрыва толщина по линіи разрыва (вдоль цилиндра) оказалась всего лишь 0,015 дюйма.

Въ добавленіе къ случаю № 1777 приводимъ еще слѣдующій случай безъ номера, не попавшій почему то въ Отчеты (вѣроятно, онъ произошелъ не въ Англіи; мѣсто въ статьѣ не указано). На одной центральной паровой станціи (между прочимъ описанной въ техническихъ журналахъ въ качествѣ „*образцовой*“) имѣлся продувной бакъ, куда выпускалась вода при продувкѣ пяти котловъ. Бакъ былъ *чугунный*, діаметръ его — 66 дюймовъ, высота—72 дюйма, толщина стѣнокъ—отъ $^5/_8$ до $^3/_4$ дюйма. Крышка—плоская, чугунная, той же толщины, безъ реберъ. Вслѣдствіе слабости конструкціи бакъ взорвало, осколками перешибло 12-дюймовую паровую главную трубу и паръ изъ всѣхъ котловъ вырвался въ котельное помѣщеніе и сварилъ кочегара на смерть.

Подобные случаи повторяются неоднократно и поэтому слѣдуетъ обратить вниманіе на то, чтобы продувные баки строились способными выдерживать то довольно большое давленіе, которое можетъ развиться въ нихъ при самыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ продувки. Величину этого давленія установить довольно трудно; авторъ

статьи въ журналѣ „The Practical Engineer“ за 1906 годъ, 23 Ноября, стр. 644, откуда заимствуемъ приведенный сейчасъ примѣръ, полагаетъ, что это давленіе возможно принимать отъ 10 до 20 фунтовъ на □ дюймъ и рекомендуетъ строить баки клепаные изъ желѣза толщиною въ $^3/_8$ дюйма. Подробности устройства раціональнаго желѣзнаго продувного бака имѣются въ названной статьѣ.

Всѣ изложенныя здѣсь соображенія относительно тѣхъ неправильностей въ конструкціи и уходѣ, которыя являются причинами взрывовъ различныхъ „сосудовъ“, обыкновенно не находили себѣ мѣста въ сочиненіяхъ по Технологіи и ихъ съ большимъ трудомъ приходилось собирать въ журнальной литературѣ. Только во время печатанія настоящихъ строкъ появилось на Нѣмецкомъ языкѣ сочиненіе, гдѣ этому вопросу удѣляется достаточное вниманіе. Это книга „Sicherheitseinrichtungen in chemischen Betrieben“ von Dr.-Ing. Konrad Hartmann, входящая въ составъ цѣлой энциклопедіи, носящей названіе „Chemische Technologie in Einzeldarstellungen“, Herausgeber Prof. Dr. Ferd. Fischer. Въ этой книгѣ имѣется много указаній по вопросу о конструкціи химическихъ сосудовъ и объ уходѣ за ними, хотя общія, принципіальныя соображенія, изложенныя мною въ настоящей главѣ, развиты въ книгѣ довольно слабо.

ГЛАВА XVII.

Компенсаторы или расширители.

§ 121. Какъ уже сказано раньше, устройства эти служатъ для того, чтобы трубопроводъ могъ свободно расширяться и сокращаться при измѣненіяхъ температуры протекающей въ немъ жидкости, или же, что̀ тоже важно, при измѣненіяхъ температуры окружающей среды въ томъ случаѣ, если трубопроводъ по временамъ бываетъ пустымъ, такъ что температура его обусловливается тогда не температурою находящейся въ немъ жидкости, а температурою окружающей среды.

Какъ уже сказано раньше, компенсаторъ долженъ, такъ сказать, *поглотить* расширѐніе нѣкоторой части трубопровода (если компенсаторовъ нѣсколько); расширѐніе и сокращеніе вслѣдствіе измѣненій температуры вызываютъ въ металлахъ столь могущественныя силы, что сопротивляться имъ трубопроводъ не въ состояніи; онъ будетъ выпученъ, изогнутъ, изломанъ, разорванъ и т. п., но выдержать силъ, развивающихся вслѣдствіе измѣненій температуры, онъ *не въ состояніи;* поэтому, какъ сказано и раньше, для того, чтобы предохранить линію трубъ отъ подобныхъ разрушеній, необходимо дать ей возможность *свободно, безпрепятственно измѣнять свою длину при измѣненіяхъ температуры* даже и въ томъ случаѣ, если нѣкоторыя части трубопровода будутъ укрѣплены неподвижно; въ возмѣщеніе этого укрѣпленія должны быть введены въ трубопроводъ другія части, гдѣ перемѣщенія трубъ могли бы происходить *безпрепятственно* и *полностію въ той мѣрѣ,* какъ того требуетъ удлиненіе или укороченіе всей линіи трубопровода подъ вліяніемъ нагрѣванія или охлажденія въ наиболѣе широкихъ возможныхъ предѣлахъ измѣненія температуры.

Такія части или приборы и носятъ названіе **компенсаторовъ** или **расширителей**.

Прежде, чѣмъ описать подробнѣе различныя конструкціи ихъ, имѣющіяся въ *Атласѣ*, сдѣлаемъ еще нѣсколько общихъ замѣчаній относительно установки и расположенія расширителей.

Всякій расширитель долженъ свободно поглотить все расширѐніе трубопровода если онъ одинъ, или все расширѐніе той части трубопровода, которая придется на одинъ расширитель, если ихъ нѣсколько. Понятно, что если расширитель будетъ только одинъ, то чѣмъ длиньше трубопроводъ, тѣмъ пропорціонально больше должно быть и свободное перемѣщеніе въ расширителѣ или *ходъ* его. Такъ какъ слишкомъ большой ходъ усложняетъ конструкцію расширителей и дѣлаетъ ихъ громоздкими, то при длинномъ трубопроводѣ въ него вставляютъ нѣсколько расширителей, располагая ихъ равномѣрно на всей длинѣ трубопровода. Число расширителей находится все таки въ зависимости отъ предѣловъ измѣненія температуры и отъ коэффиціента линейнаго расширѐнія матеріала трубъ.

Переходимъ теперь къ описанію различныхъ расширителей. Всѣ конструкціи расширителей можно раздѣлить на *два* класса:

1). Расширители **упругіе**, или, лучше сказать, **гибкіе**

и

2). Расширители **скользящіе** или же **поворотные.**

Въ **первомъ** классѣ расширителей необходимое перемѣщеніе достигается путемъ *деформаціи* нѣкоторыхъ частей расширителя, которыя устроены такъ, что для произведенія этой деформаціи въ томъ ея размѣрѣ, который нуженъ для компенсаціи измѣненія длины трубъ, требуется лишь очень незначительное продольное усиліе, появленіе котораго нисколько не вредитъ прочности и герметичности трубопровода и его соединеній.

Во **второмъ** классѣ расширителей перемѣщеніе трубъ можетъ происходить *чисто кинематически*, вполнѣ опредѣленно, благодаря тому, что въ трубопроводъ вставлены **спеціально устроенныя кинематическія пáры**, состоящія тоже изъ трубъ и пропускающія сквозь себя безпрепятственно жидкость, но и дающія, вмѣстѣ съ тѣмъ, скрѣпленнымъ съ ними концамъ трубъ возможность, подъ расширяющимъ трубы вліяніемъ теплоты (или укорачивающимъ—холода), перемѣщаться почти безъ сопротивленія, преодолѣвая лишь слабое треніе въ этихъ кинематическихъ пáрахъ. Такія пáры бываютъ двухъ сортовъ:

a). Въ трубопроводъ вставляются *поступательныя* пáры, т. е. устраиваются **ползуны**, причемъ частями этого ползуна являются сами концы двухъ смежныхъ трубъ, такъ что одна часть трубы скользитъ въ расширеніи конца другой трубы. Устройство это напоминаетъ соединеніе трубъ раструбомъ и, собственно, только тѣмъ и отличается отъ простого раструба, что оно устроено болѣе деликатно и надежно, именно—снабжено форменнымъ сальникомъ. Вообще же говоря, всякое раструбное соединеніе тоже есть, въ грубой формѣ, подобнаго рода расширитель.

b). Въ трубопроводъ вставляются *вращательныя* пáры. Это устройство сложнѣе. Здѣсь между концами двухъ смежныхъ трубъ оставляется нѣкоторый перерывъ, въ который вставляются двѣ трубы, соединенныя вращательной пáрой и имѣющія видъ полураскрытаго циркуля (чер. 312, стр. 430), уголъ раскрытія котораго мѣняется при перемѣщеніи примыкающихъ къ циркулю концовъ трубъ. Этотъ расширитель можетъ быть названъ циркульнымъ.

Свойства жидкости, находящейся въ трубѣ, играютъ лишь второстепенную и чисто химическую роль, вліяя только на долговѣчность набивокъ и пр. Вообще же говоря, одна и та же конструкція расширителя можетъ служить (и въ практикѣ и служитъ) для разныхъ жидкостей—воды, пара и пр. Поэтому, мы при описаніи не будемъ дѣлить расширители по родамъ жидкости; спеціальныя же конструкціи отмѣтимъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ.

1-й классъ. Гибкіе расширители.

§ 122. Гибкіе расширители состоятъ или изъ трубъ, имѣющихъ тотъ же діаметръ, какъ и самъ трубопроводъ (а иногда и меньшій), или же изъ частей, имѣющихъ и большій діаметръ нежели трубопроводъ. Расширителями перваго рода являются: обыкновенныя **колѣна**, или завороты трубъ, о которыхъ говорилось ранѣе, лировидные расширители, *змѣевики* и т. п. Расширители второго рода суть: или волнистыя трубы, или же тарельчатые расширители. Разсмотримъ главнѣйшія изъ всѣхъ этихъ устройствъ.

Наибольшимъ распространеніемъ въ практикѣ пользуются **лировидные** расширители. На фиг. 1 и 4—5 табл. 94 представлены двѣ конструкціи такихъ *лирообразныхъ* или *лировидныхъ* расширителей; изогнутая въ видѣ высокой лиры труба вставляется въ трубопроводъ и при расширеніи его отъ теплоты оба флянца лиры, прилегающіе къ двумъ трубамъ линіи, могутъ сближаться при удлиненіи этихъ послѣднихъ довольно свободно, ибо, благодаря большой высотѣ лиры, сравнительно незначительная сила вызываетъ уже значительный прогибъ лиры. Но въ этомъ и состоитъ главное неудобство этихъ расширителей; именно, для полученія достаточной гибкости лира должна имѣть б о л ь ш у ю в ы с о т у, настолько большую (см. таблицу при фиг. 1-й), что это иногда затрудняетъ установку такихъ расширителей тамъ, гдѣ мало свободнаго мѣста. Но тѣмъ не менѣе, расширители эти въ практикѣ пользуются большимъ распространеніемъ.

Форма лиры, показанная на фиг. 1-й табл. 94, въ составъ которой входятъ прямолинейныя очертанія съ длиною g, лучше, нежели форма фиг. 4—5 той же таблицы, въ томъ отношеніи, что она свободнѣе деформируется (при прочихъ равныхъ условіяхъ), нежели эта послѣдняя форма, составленная изъ однѣхъ лишь дугъ окружностей.

Что̀ касается р а с ч е т а лировидныхъ расширителей, т. е. теоретическаго опредѣленія, по заданнымъ размѣрамъ ихъ, напряженій и деформацій (или наоборотъ), то на это было раньше потрачено много труда, но практика всегда расходилась съ теоріей. Дѣйствительная деформація лиры оказывалась всегда гораздо больше, нежели вычисленная, и причину этого явленія долго не могли открыть, пока въ 1909 году не были произведены въ Германіи профессоромъ Бантлиномъ обширные опыты съ компенсаторами, которые и выяснили въ чемъ дѣло. Эта работа въ сокращенномъ видѣ изложена въ Журналѣ Нѣмецкихъ Инженеровъ за 1910 годъ, а подробно — въ особой брошюрѣ, изданной Обществомъ, куда и слѣдуетъ обратиться за подробностями.

Важнѣйшіе результаты, полученные Бантлиномъ, слѣдующіе.

Лировидный расширитель изъ литого желѣза, съ внутреннимъ діаметромъ въ 200 mm, подвергался сдавливанію по возможности въ тѣхъ же условіяхъ, какъ и въ дѣйствительности (но холодный и безъ давленія), и было измѣрено сближеніе его концовъ (флянцевъ), а затѣмъ это же сближеніе было вычислено теоретически. Оказалось, что полученное при опытѣ сближеніе концовъ, въ среднемъ, *почти въ пять разъ больше*, нежели вычисленное по теоріи прогиба. Затѣмъ была испытана лира, имѣющая форму лировиднаго расширителя, но сдѣланная изъ сплошного желѣзнаго бруса квадратнаго сѣченія (сторона квадрата — 80 mm). Здѣсь оказалось полное согласіе опыта съ расчетомъ (отношеніе измѣренной величины къ вычисленной = 1,037). Затѣмъ былъ сдѣланъ лировидный расширитель съ тѣми же размѣрами радіусовъ и съ тѣмъ же діаметромъ въ 200 mm какъ и настоящій, но отлитъ онъ былъ изъ чугуна, и тоже испытанъ. И здѣсь опытъ и теорія почти сошлись (отношеніе измѣренной величины къ вычисленной въ среднемъ = 0,94).

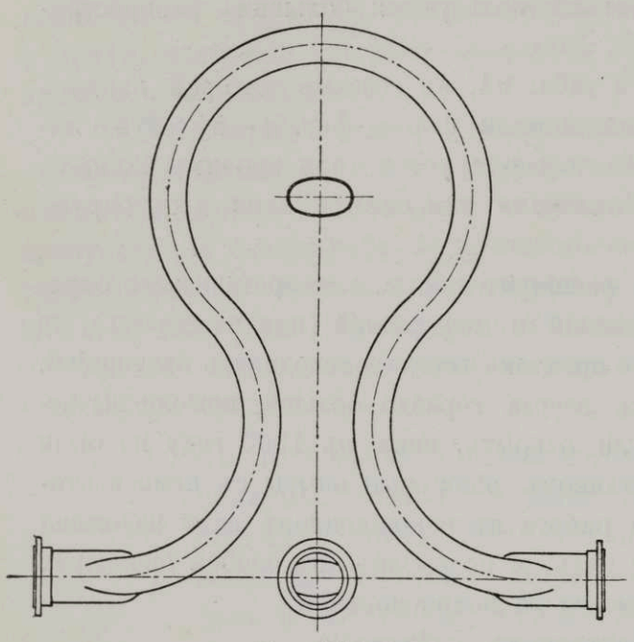
Въ чемъ же лежитъ причина того, что только гнутый изъ желѣзной трубы расширитель далъ прогибъ почти въ пять разъ большій? Оказывается, причина лежитъ въ томъ, что вычисленія дѣлались не для того тѣла, которое лировидный гнутый расширитель представляетъ въ дѣйствительности. Именно, во время гнутія трубы на внутренней, сжатой сторонѣ загиба образуется рядъ мелкихъ складокъ, волнъ или морщинъ, которыя остаются и, такимъ образомъ, мы имѣемъ не гладкую искривленную трубу, а в о л н и с т у ю, съ мелкими волнами на сжатой сторонѣ, и понятно, что такія, хотя и мелкія волны деформируются гораздо легче, нежели стѣнка искривленной трубы.

Разъ истинная деформація не сходится съ тою, которая вычисляется въ предположеніи гладкой трубы, то, конечно, нельзя по этой вычисленной деформаціи вычислять и напряженіе на изгибъ лиры, какъ это неоднократно дѣлали до сихъ поръ.

Опредѣлять же вычисленіемъ деформаціи мелкихъ морщинъ, конечно, невозможно и потому *опредѣленіе напряженія въ лирѣ или расчетъ ея прочныхъ размѣровъ теоретически сдѣланы быть не могутъ.*

Другой, тоже изъ литого желѣза расширитель, съ внутреннимъ діаметромъ въ 125mm, далъ разницу между измѣренной и вычисленной величиной пружиненія въ отношеніи 2,6; повидимому, разница возрастаетъ съ увеличеніемъ діаметра трубы.

Долгое время лировидные расширители дѣлались исключительно изъ красной мѣди для полученія большей гибкости. Но за послѣдніе годы удалось достигнуть хорошихъ результатовъ и съ расширителями лировидной формы, устроенными изъ *желѣза* или стали, что̀, конечно, возможно лишь при необыкновенной мягкости и податливости послѣднихъ. Примѣръ такого расширителя (съ Дюссельдорфской Выставки) приведенъ на табл. 89 *Атласа*, фиг. 7, а на чер. 287 показана новая конструкція подобнаго расширителя съ *овальнымъ* сѣченіемъ трубы, принадлежащая Берлинской фирмѣ „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“. * Такіе расширители съ овальнымъ сѣченіемъ (бо́льшая ось котораго расположена въ нейтральномъ слоѣ) обладаютъ большею гибкостію и подвергаются меньшимъ напряженіямъ на изгибъ, нежели расширители съ круглымъ сѣченіемъ.



Чер. 287.

Какъ видно изъ приводимыхъ далѣе цѣнъ, желѣзныя и стальныя лиры несравненно дешевле мѣдныхъ.

Кромѣ указаннаго выше недостатка—большой высоты, лировидные расширители обладаютъ еще слѣдующими недостатками:

Въ лирѣ *можетъ скопляться конденсаціонная вода;* для избѣжанія этого слѣдуетъ класть лиру горизонтально, такъ какъ тогда вода свободно проходитъ вмѣстѣ съ паромъ, но такое расположеніе иногда бываетъ очень неудобно и даже невозможно; тогда слѣдуетъ ставить лиру вертикально, направляя ее вверхъ отъ трубопровода и дѣлая у того конца ея, гдѣ паръ изъ нея выходитъ, дренажный кранъ для спуска воды. **

Лировидные расширители *мало пригодны для большихъ діаметровъ*, такъ какъ съ увеличеніемъ діаметра растетъ и толщина стѣнки, а слѣдовательно, уменьшается гибкость трубы. Обычнымъ предѣломъ для выгоднаго примѣненія такихъ расширителей большинство считаетъ діаметръ около 175—200 mm, а нѣкоторыя фирмы идутъ и до 300 mm, даже при перегрѣтомъ парѣ. Кромѣ того, при большомъ діаметрѣ *цѣна лиръ растетъ очень быстро*, и мѣдныя лиры выходятъ страшно дороги (см. далѣе, въ сравненіи расширителей).

Даже и при малыхъ діаметрахъ трубъ *лиры годны лишь для тѣхъ случаевъ, гдѣ измѣненіе длины трубопровода*, которое должно быть поглощено расширителями, *не особенно велико*, такъ какъ пружиненіе лиры, или, все равно, поглощаемое ея удлиненіе трубопровода, сравнительно мало (см. табл. 94 *Атласа*). Поэтому, въ случаѣ

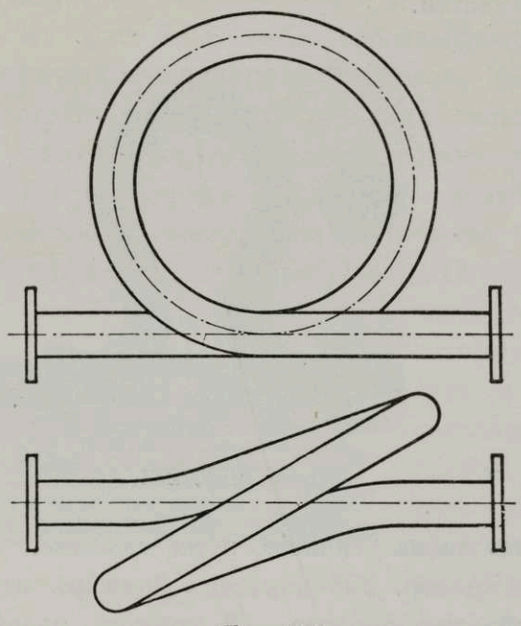
---

* Такія лиры съ овальнымъ сѣченіемъ бываютъ и мѣдныя.

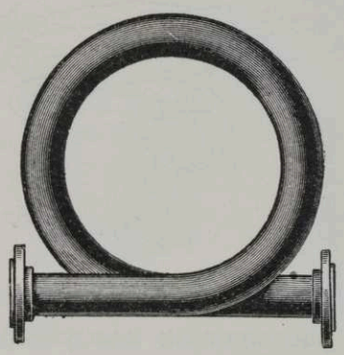
** Нѣкоторые конструкторы поступаютъ весьма остроумно для того, чтобы, при расположеніи лиры вверхъ, въ ней не задерживалась вода; именно, они соединяютъ нижніе концы лиры маленькою упругою трубочкою, тоже какъ бы миніатюрнымъ расширителемъ, по которой вода свободно переходитъ прямо, не заходя въ лиру, изъ одной половины трубопровода въ другую; такая же трубочка ясно видна далѣе, на чер. 295, гдѣ она примѣнена къ петлѣ, работающей на крученіе.

большого измѣненія длины трубопровода, пришлось бы ставить слишкомъ много лиръ. Въ этомъ отношеніи скользящіе расширители представляютъ полную противоположность лирамъ, будучи въ состояніи поглотить какое угодно измѣненіе длины трубопровода, какъ то видно, напр., изъ фиг. 11—13 табл. 67.

Флянцы, соединяющіе концы лиры съ трубопроводомъ, а также флянцы са-



Чер. 288.

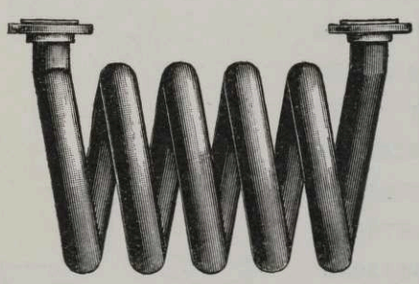


Чер. 289.

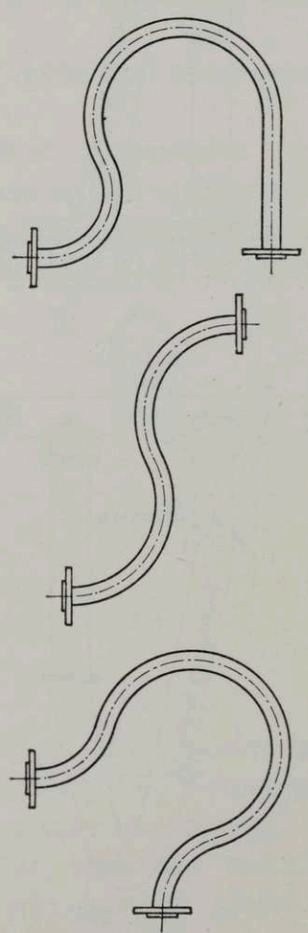
мой лиры, если она свернута изъ нѣсколькихъ частей, *разстраиваются часто и даютъ течь;* это понятно, такъ какъ силы, дѣйствующія вдоль оси трубопровода, изгибая лиру, заставляютъ тѣмъ самымъ ея флянцы наклоняться къ своему первоначальному положенію и раскрываютъ, такимъ образомъ, стыкъ, разстраивая его герметичность.

Съ теченіемъ времени *матеріалъ лиры* подъ вліяніемъ постоянныхъ изгибовъ (и обыкновенно притомъ въ обѣ стороны, такъ какъ принято вставлять лиры на мѣсто полурастянутыми) *переутомляется*, и на ней появляются трещинки, которыя могутъ дойти до такихъ размѣровъ, что лира потечетъ и ее приходится бросать; слѣдуетъ наблюдать за появленіемъ этихъ трещинъ, чтобы своевременно предупредить опасность.

Но не смотря на эти недостатки, гибкіе расширители все таки **весьма распространены**, такъ какъ они имѣютъ и крупныя достоинства, и главными изъ нихъ являются: *простота устройства* и *отсутствіе необходимости ухода* за расширителемъ, такъ какъ въ немъ нѣтъ подвижныхъ кинематическихъ паръ. Необходимы только правильные періодическіе осмотры, чтобы узнать, нѣтъ ли начала трещинъ.



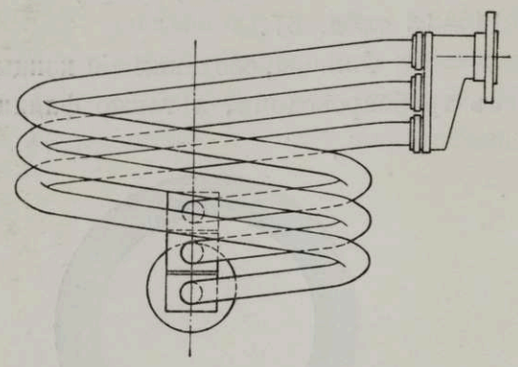
Чер. 290.



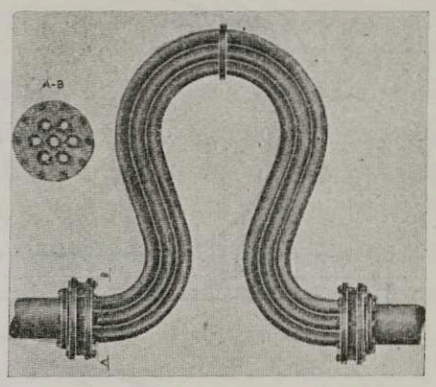
Чер. 291.

Кромѣ лировидной формы, расширители, гнутые изъ трубъ, выполняются и въ другихъ формахъ, изъ которыхъ простѣйшею являются обыкновенныя колѣна, о которыхъ мы такъ много говорили въ мѣдныхъ трубахъ; затѣмъ встрѣчаются расширители въ видѣ петли или валторны, какъ на чер. 288 и 289 (первая изъ этихъ формъ позволяетъ имѣть оси обѣихъ частей трубопровода на одной общей прямой, а вторая требуетъ сноса одной изъ осей въ сторону), въ видѣ змѣевика, чер. 290, въ видѣ дугъ, какъ на чер. 291 и пр. Иногда, для облегченія деформированія, вмѣсто

одной трубы ставятъ рядомъ нѣсколько трубъ меньшаго діаметра, чер. 292 и 293. При большихъ діаметрахъ трубъ всѣ перечисленные расширители, включая сюда и лировидные, составляютъ иногда изъ нѣсколькихъ частей.

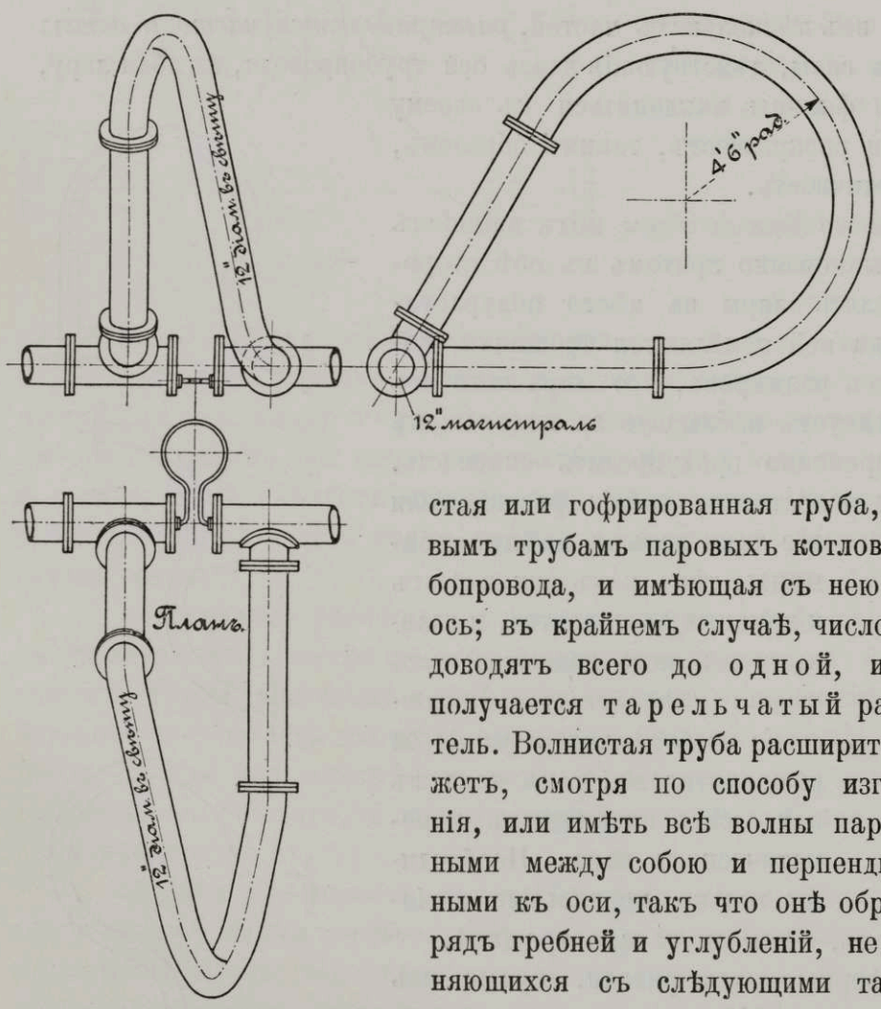


Чер. 292.



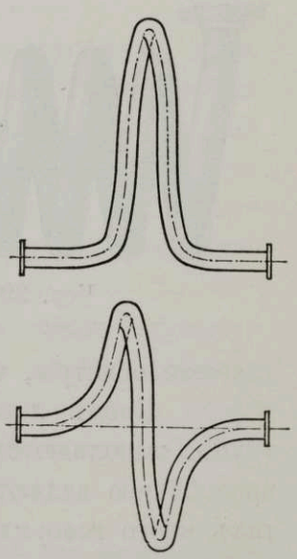
Чер. 293.

Иногда петлю заставляютъ работать не на сгибаніе, а *на крученіе*, чер. 294, но такіе расширители малоупотребительны. На чер. 295 показанъ примѣръ одного изъ такихъ исполненныхъ расширителей; діаметръ паропровода—12 дюймовъ, толщина стѣнокъ трубъ—$^1/_2$ дюйма, давленіе пара—225 фунтовъ на □ дюймъ; для прямого перепуска конденсаціонной воды мимо петли устроенъ въ мѣстѣ окончанія двухъ главныхъ трубъ мостикъ изъ небольшой трубочки, тоже изогнутой въ видѣ лиры.



Чер. 295.

Теперь перейдемъ къ *волнистымъ* расширителямъ. Въ простѣйшемъ видѣ это есть просто волнистая или гофрированная труба, подобная волнистымъ жаровымъ трубамъ паровыхъ котловъ, вставленная въ линію трубопровода, и имѣющая съ нею общую ось; въ крайнемъ случаѣ, число волнъ доводятъ всего до одной, и тогда получается тарельчатый расширитель. Волнистая труба расширителя можетъ, смотря по способу изготовленія, или имѣть всѣ волны параллельными между собою и перпендикулярными къ оси, такъ что онѣ образуютъ рядъ гребней и углубленій, не соединяющихся съ слѣдующими таковыми же, или же волны образуютъ, въ сущности, одну непрерывную винтовую линію возвышенную, а углубленія—такую же линію вдавленную, такъ что труба будетъ такъ называемая спиральная, такая, какъ описано на стр. 362, чер. 239.

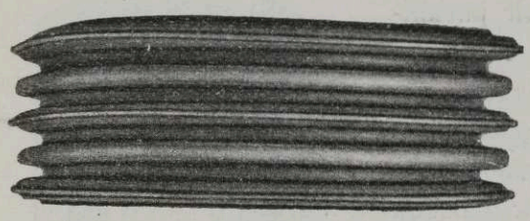


Чер. 294.

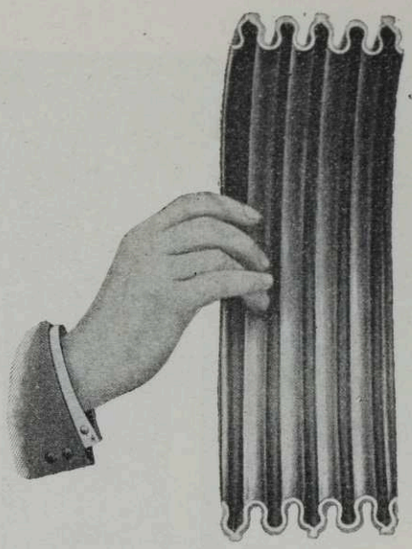
Простые волнистые расширители примѣняются обыкновенно для трубъ не свыше 400 mm въ діаметрѣ и для давленій не болѣе 4 атмосферъ.

На фиг. 20—21 табл. 104 *Атласа* изображенъ Американскій волнистый расширитель Осборна, который очень хвалитъ проф. Ридлеръ въ своемъ отчетѣ о поѣздкѣ въ Америку.

На фиг. 5—6 табл. 118 изображенъ Американскій волнистый расширитель Таунтона, весьма остроумной конструкціи. Въ обыкновенномъ волнистомъ расширителѣ часто наблюдается то неудобство, что, вслѣдствіе не полной однородности отдѣльныхъ волнъ, онѣ принимаютъ участіе въ воспринятіи расширенія не всѣ въ одинаковой мѣрѣ, а деформируются сильно лишь нѣсколько болѣе слабыхъ волнъ, которыя потомъ могутъ и изломаться, а остальныя работаютъ слабѣе. Чтобы устранить это неудобство въ названномъ Американскомъ расширителѣ между волнами положены такъ называемыя уравнительныя кольца, не позволяющія одной волнѣ деформироваться много сильнѣе, нежели сосѣднія, и распредѣляющія, такимъ образомъ, полную потребную деформацію довольно равномѣрно между всѣми волнами. Внутренняя труба изъ твердой мѣди даетъ расширителю продольную жесткость, не препятствуя, однако, расширенію.



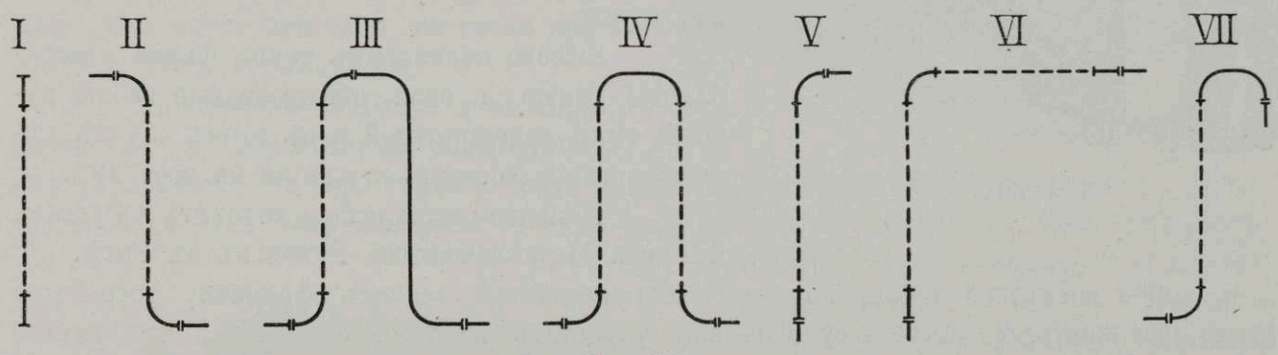
Чер. 296.



Чер. 297.

Такіе расширители примѣнялись съ успѣхомъ даже для трубъ съ діаметромъ въ 30 дюймовъ. Они уютны и легки.

Заводъ гибкихъ металлическихъ рукавовъ въ Пфорцгеймѣ устраиваетъ изъ своихъ спирально-сваренныхъ волнистыхъ трубъ гибкіе расширители особой конструкціи, которые пользуются теперь значительнымъ распространеніемъ. Скажемъ сперва два слова

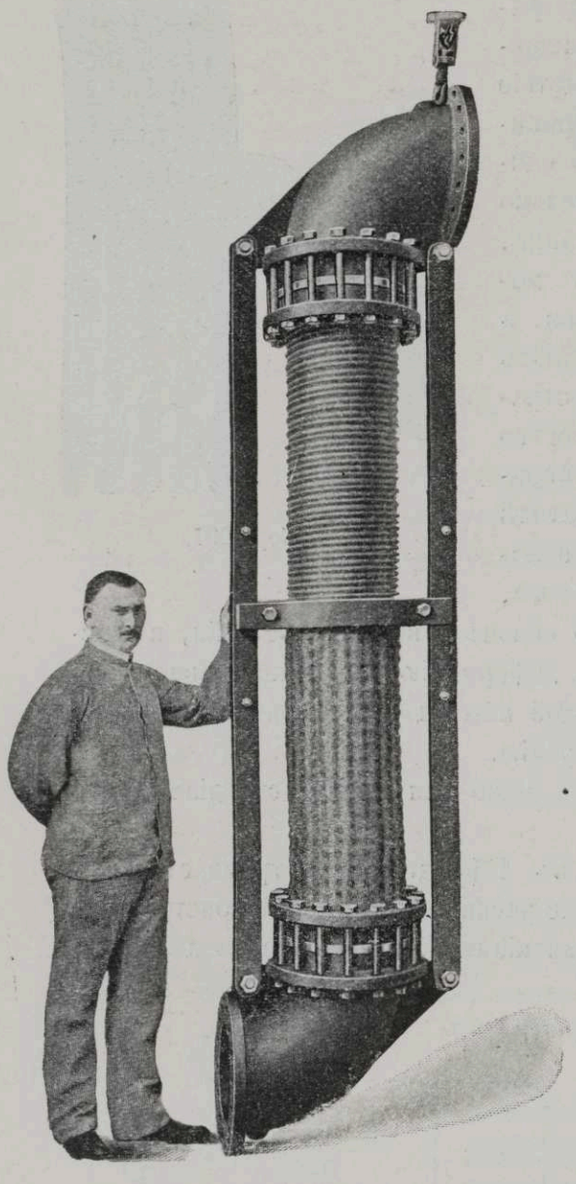


Чер. 298.

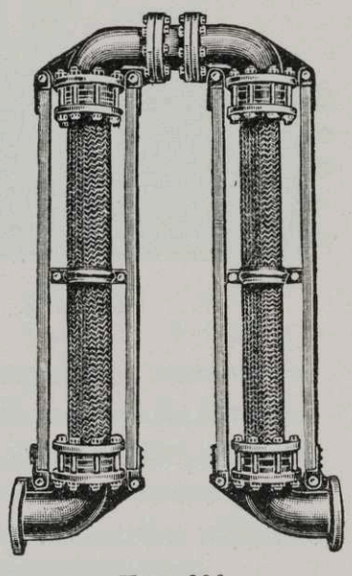
объ изготовленіи этихъ волнистыхъ трубъ, которое мнѣ удалось лично видѣть на заводѣ. Сущность образованія волнистой трубы видна изъ чер. 296—297. Готовится профилированная полоска, которой профиль состоитъ изъ одной волны въ срединѣ и двухъ полуволнъ. Готовая полоса навивается спирально на оправку, такъ что кромки сосѣднихъ завитковъ спирали подходятъ въ стыкъ другъ къ другу; завитая длинная труба готова теперь къ сваркѣ; ее зажимаютъ гайкою, помѣщенною на концѣ оправки, и ставятъ на станокъ, напоминающій самоточку; затѣмъ, при помощи автогеннаго пламени, которое все время идетъ относительно оправки и трубы по винтовой линіи нужнаго шага, постепенно завариваютъ спиральный шовъ по всей длинѣ. Несмотря на кажущуюся грубость процесса получается вполнѣ удовлетворительная и надежная сварка. Такимъ образомъ возможно готовить волнистыя трубы до 12 метровъ длиною и съ діа-

метромъ до 2 метровъ, по словамъ завода. Я видѣлъ изготовленіе трубы въ 400 mm діаметромъ.

Компенсаторы изъ такихъ трубъ образуются различно, по схемамъ, показаннымъ на чер. 298, гдѣ пунктиръ вездѣ означаетъ кусокъ волнистой трубы. Фотографія простѣйшаго такого расширителя (по типу I) дана на чер. 299, гдѣ на верхней части трубы оплетка снята. Имѣющіяся по бокамъ тяги на шарнирахъ служатъ для воспринятія продольной осевой силы, дѣйствующей вдоль волнистой трубы. На чер. 300 показанъ лировидный расширитель по типу IV, а на чер. 301—по типу III. Въ этомъ послѣднемъ примѣрѣ внизу налѣво видно образованіе неподвижной точки. Продольныя тяги или шины, видимыя на чертежахъ 299, 300 и 301 служатъ для того, чтобы избавить волнистую часть расширителя отъ дѣйствія продольной разрывающей силы. Тяги эти соединены шарнирно съ жесткими частями расширителя и нисколько не мѣшаютъ волнистой части его изгибаться по направленію, перпендикулярному къ оси этой волнистой части или трубы.



Чер. 299.



Чер. 300.

Вмѣсто волнистыхъ трубъ фирма употребляетъ также и свои обыкновенные гибкіе рукава; типы расширителей и въ этомъ случаѣ дѣлаются такіе же, какъ показано на чер. 298.

Такіе же расширители готовитъ и Русская Фабрика Металлическихъ Рукавовъ въ Ригѣ.

Въ послѣднее время, по сообщенію названной сейчасъ фабрики, устройство этихъ расширителей удалось существенно упростить въ томъ отношеніи, что вмѣсто сложныхъ и дорогихъ сальниковъ, помощію которыхъ кусокъ гибкаго рукава, входящій въ составъ компенсатора, соединялся съ колѣнами или вообще, оконечностями, какъ на чер. 299—301, удалось сдѣлать соединеніе при помощи простой заливки промежутковъ между рукавомъ и конечными муфтами вновь изобрѣтеннымъ сплавомъ, замѣняющимъ припой въ прежнихъ такихъ же простыхъ конструкціяхъ, назначавшихся лишь для пара низкаго давленія.

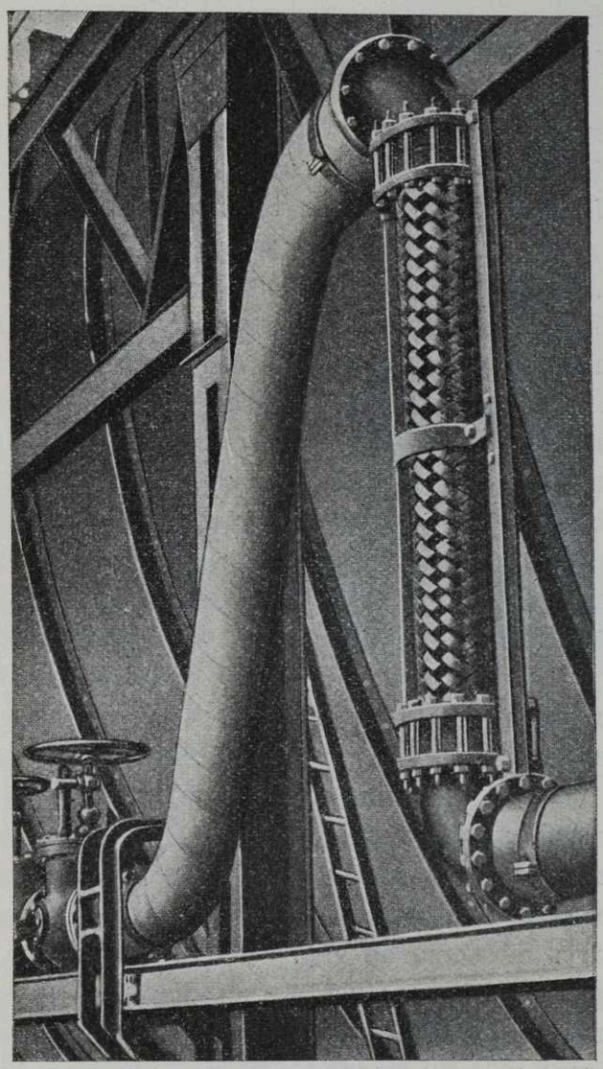
Кстати сказать, для насыщеннаго пара фирма рекомендуетъ бронзовые рукава, а для перегрѣтаго—стальные.

Въ послѣднее время появились въ продажѣ *волнистые лировидные* и подобные имъ *расширители*. Эти расширители представляютъ изъ себя, такъ сказать, соединеніе обыкновенной изогнутой трубы (колѣна, лиры и т. п.) съ волнистымъ расширителемъ, такъ какъ здѣсь сама изогнутая въ видѣ лиры и пр. труба имѣетъ еще по всей своей длинѣ рядъ волнъ, какъ то ясно видно на чер. 302. Такіе компенсаторы обладаютъ

значительно большею деформаціей * нежели гладкія лиры и колѣна. Эти волнистые компенсаторы изготовляются Варшавскимъ заводомъ Мацѣевскаго „Компенсаторъ". Процессъ образованія волнъ состоитъ въ послѣдовательномъ частичномъ нагрѣваніи трубы и въ сжатіи ея по осевому направленію; при такомъ процессѣ легко обнаруживаются порочныя мѣста въ матеріалѣ и негодная труба можетъ быть своевременно узнана и отброшена. Подробности о такихъ трубахъ см. въ каталогѣ фирмы.

Теперь перейдемъ къ тарельчатымъ расширителямъ.

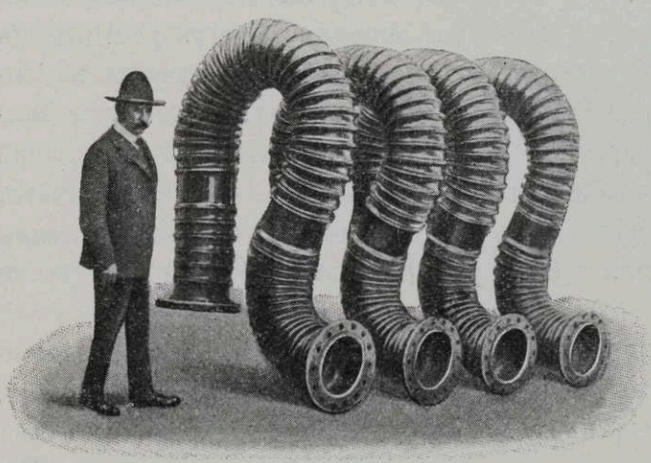
Въ крайнемъ случаѣ, какъ уже сказано ранѣе, волнистый расширитель можетъ имѣть всего *лишь одну волну*, которая образуется обыкновенно изъ двухъ спаянныхъ (фиг. 6 табл. 94) или склепаныхъ (фиг. 7) половинокъ или тарелокъ, почему такой расширитель обыкновенно и называютъ *тарельчатымъ*; форма тарелокъ и конструктивное выполненіе такихъ расширителей бываютъ довольно разнообразны; тарелки могутъ быть и плоскими и въ видѣ конусовъ и искривленными, какъ на фиг. 7.



Чер. 301.

Тарельчатые расширители не пригодны для большого давленія, въ особенности въ паропроводахъ; но для паропроводовъ низкаго давленія (мятаго пара, трубъ къ холодильнику) и для воздухо- и водопроводовъ съ небольшимъ давленіемъ они очень пригодны по своей простотѣ и часто примѣняются.

При значительныхъ давленіяхъ волнистые и тарельчатые расширители опасны потому, что въ случаѣ, если концы трубопровода не будутъ имѣть достаточно солидныхъ неподвижныхъ точекъ, расширители легко могутъ быть разрушены наибольшею возможною продольною силою, которая, какъ мы обращали на то вниманіе раньше, равняется полному давленію жидкости на *наибольшую* свободную площадь въ трубѣ, значитъ, въ тарельчатомъ расширителѣ, на площадь круга, котораго діаметръ равенъ внутреннему діаметру въ мѣстѣ соединенія двухъ тарелокъ. Для достиженія потребной гибкости приходится этотъ послѣдній діаметръ брать довольно значительнымъ, и потому, расширитель легко можетъ быть разорванъ большою



Чер. 302.

* большею въ 2—3 раза, нежели у обыкновенныхъ гладкихъ лиръ, при той же высотѣ и діаметрѣ.

продольною силою; * поэтому, при высокихъ давленіяхъ тарельчатые расширители не годятся.

На фиг. 18—19 и 26 табл. 81 изображены два гибкихъ тарельчатыхъ расширителя, назначенные спеціально для водопроводовъ. Тяжелыя условія работы перваго изъ этихъ расширителей, обусловленныя нахожденіемъ линіи на поверхности земли, указаны въ *Атласѣ*.

Подобнымъ же образомъ устроенъ и расширитель водопровода „Happy Walley“ въ Австраліи, работающій въ еще болѣе тяжелыхъ условіяхъ, ибо по временамъ трубопроводъ бываетъ совсѣмъ безъ воды, такъ что колебанія температуры достигаютъ 76 градусовъ Цельзія. Этотъ расширитель показанъ на табл. 88, фиг. 19—23.

Слѣдуетъ упомянуть, что предложенный для подобнаго же случая водопровода „Coolgardie“ профессоромъ Unwin'омъ скользящій расширитель (табл. 81, фиг. 20) былъ спеціалистами-практиками признанъ **никуда не годнымъ** и при построеніи водопровода примѣнены были гибкіе расширители, подобные только что описаннымъ.

Волнистые и тарельчатые расширители, такъ же, какъ и лиры, могутъ быть вставляемы въ трубопроводъ или такимъ образомъ, что въ холодномъ состояніи расширитель не напряженъ, а при нагрѣваніи трубъ расширеніе трубопровода гнетъ расширитель все время сближая его крайніе флянцы, или же такъ, что при холодномъ трубопроводѣ расширитель нѣсколько растянутъ по оси (на половину или на треть полной деформаціи) и во время нагрѣванія сперва приходитъ въ ненапряженное состояніе, а затѣмъ уже флянцы его сближаются, но меньше, нежели въ первомъ случаѣ.

Подобно тому, какъ и въ лировидныхъ расширителяхъ, матеріалъ волнистыхъ и тарельчатыхъ расширителей со временемъ переутомляется и могутъ появиться трещинки, почему эти расширители тоже нуждаются въ періодическихъ осмотрахъ.

Иногда въ литературѣ, у слишкомъ горячихъ защитниковъ гибкихъ расширителей, можно встрѣтить, въ числѣ преимуществъ этихъ расширителей, указаніе на то, что при нихъ трубы не требуютъ неподвижныхъ точекъ, необходимыхъ, будто бы, при однихъ только скользящихъ расширителяхъ, при которыхъ приходится поступать такъ, какъ показано на чер. 33 стр. 45. Это не вѣрно; и трубопроводъ съ гибкими расширителями непремѣнно долженъ имѣть неподвижныя точки, для того, чтобы движеніе трубъ происходило именно въ расширителѣ, гдѣ все для этого приспособлено, а не въ другомъ мѣстѣ. Это необходимо потому, что сила, которая необходима, въ особенности при трубахъ большого діаметра, для того, чтобы прогнуть расширитель на величину, равную удлиненію трубопровода, вовсе ужъ не такъ незначительна, а довольно велика, и оставить эту силу безъ уравновѣшиванія неподвижной точкой— нельзя. Кромѣ того, нельзя забывать и еще другой, гораздо большей силы, именно продольной осевой силы вдоль трубопровода, которая, если трубопроводъ нигдѣ не соединенъ съ неподвижными, крѣпко стоящими опорами, будетъ растягивать весь трубопроводъ, а, слѣдовательно, и вставленный въ него гибкій расширитель, совершенно такъ же, какъ она растягиваетъ и скользящій расширитель, или, лучше сказать, вытягиваетъ одну часть такого расширителя изъ другой. Вообще говоря, при существованіи расширителя, все равно, гибкаго, или скользящаго, или поворотнаго, произойдетъ, во время его дѣйствія, сложеніе двухъ силъ, именно: продольной силы отъ давленія жидкости и силы упругости или тренія расширителя, направленной въ ту или другую сторону.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ Берлинской фирмой F. Seiffert сдѣлано въ конструкціи лировидныхъ расширителей новое усовершенствованіе, благодаря которому, при тѣхъ же размѣрахъ, или, такъ сказать, при томъ же номерѣ расширителя, ходъ его или допускаемое удлиненіе трубопровода значительно увеличивается. Такой усовершенствованный расширитель въ первоначальной конструкціи показанъ на

---

* Примѣръ взрыва такого компенсатора см. далѣе.

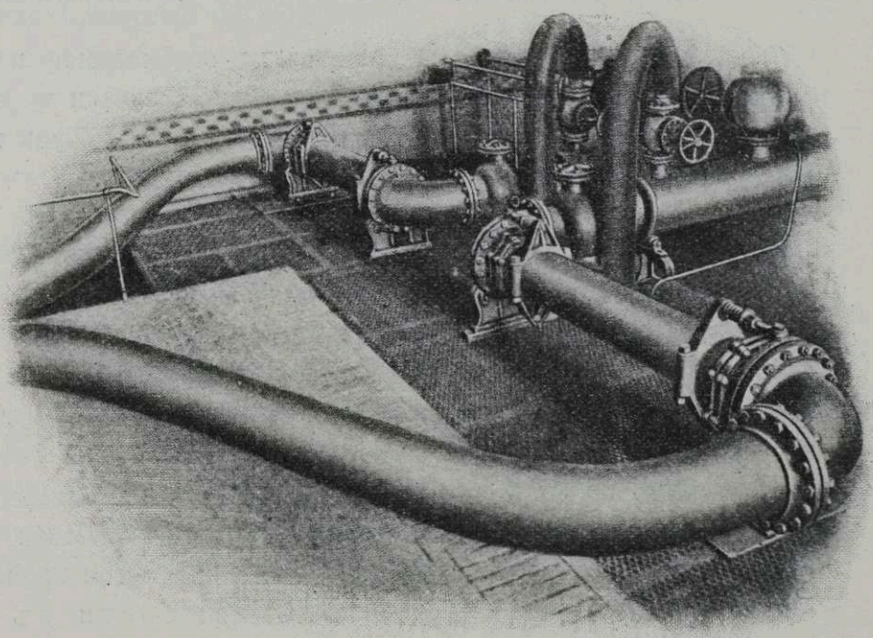
табл. 69, фиг. 16 и 17 и на чер. 303 текста. Усовершенствованіе состоитъ въ томъ, что въ одну изъ вѣтвей лиры (на фиг. 16—въ лѣвую) вставляются два шарнира Гука, выражаясь кинематически, или два шаровыхъ шарнира, или же, правильнѣе всего, два шаровыхъ сочлененія трубъ. Такимъ образомъ, къ подвижности вслѣдствіе гибкости присоединяется еще подвижность вслѣдствіе возможности поворота въ шаровомъ сочлененіи и такой расширитель, какъ указано на табл. 69, позволяетъ увеличить допускаемую деформацію трубопровода *вдвое* и даже **втрое**, а слѣд. во столько же разъ уменьшится число потребныхъ на весь трубопроводъ расширителей. На чер. 304 представлены два такихъ расширителя, расположенные рядомъ горизонтально; здѣсь видно образованіе неподвижныхъ точекъ.



Чер. 303.

Собственно, такой расширитель представляетъ переходъ къ расширителямъ поворотнымъ (о которыхъ говорится далѣе) и есть соединеніе поворотнаго расширителя, имѣющаго шаровыя сочлененія, съ гибкимъ расширителемъ. Подобные расширители строятся теперь и другими фирмами.

Теперь скажемъ нѣсколько словъ о *гибкихъ соединеніяхъ трубъ*, которыя должны быть причислены къ расширителямъ, хотя онѣ преслѣдуютъ нѣсколько болѣе широкія цѣли, именно позволяютъ двумъ соединеннымъ при помощи ихъ трубамъ не только свободно удлиняться по осевому направленію, но также и измѣнять взаимное положеніе своихъ осей, такъ что одна труба можетъ, такъ сказать, наклоняться къ другой въ любой плоскости, такъ что это есть соединеніе расширителя съ шаровымъ или Гуковскимъ сочлененіемъ.



Чер. 304.

Съ необходимостію такой конструкціи для паропроводныхъ трубъ конструкторы серьезнымъ образомъ встрѣтились при построеніи четырехъ-цилиндровыхъ паровозовъ системы *Маллета* и ея производныхъ. Въ этихъ паровозахъ, которые въ настоящее время получаютъ все большее значеніе и распространеніе, цилиндры высокаго давленія прикрѣплены къ одной

телѣжкѣ паровоза, а цилиндры низкаго давленія—къ другой; и такъ какъ обѣ телѣжки должны при проходѣ закругленій поворачиваться одна относительно другой, то ясно, что трубы, ведущія паръ изъ цилиндровъ высокаго давленія въ цилиндры низкаго давленія, не могутъ быть твердыми. Въ нихъ должно быть вставлено устройство, позволяющее имъ и измѣнять свою длину и, такъ сказать, перегибаться. Такое устройство будетъ представлять соединеніе расширителя, позволяющаго только перемѣщенія вдоль оси, съ шаровымъ сочлененіемъ, или устройствомъ, ему аналогичнымъ, позволяющимъ отклоненіе осей трубъ на желаемый, конечный уголъ.

Конструированіе такого соединенія доставило много хлопотъ инженерамъ, но и до сихъ поръ задача не разрѣшена вполнѣ удовлетворительно. Нѣкоторые примѣры рѣшеній показаны въ *Атласѣ* (говоримъ лишь о гибкихъ соединеніяхъ; были предложены и работаютъ и шаровые сальники, но ихъ примѣровъ не приведено въ *Атласѣ*, такъ какъ они не представляютъ чего либо отличающагося отъ другихъ, имѣющихся въ *Атласѣ* шаровыхъ сочлененій).

Одна изъ первыхъ конструкцій, принадлежащая Баварскому паровозному заводу Маффеи, съ которой я познакомился на Нюренбергской Выставкѣ 1896 года, показана на табл. 94, фиг. 2. Понятно, что клепка такого соединенія стоитъ очень дорого и вѣроятность течи при массѣ заклепокъ, работающихъ при изгибахъ такой гармоники очень неблагопріятнымъ образомъ, будетъ очень велика. Французы улучшили эту конструкцію, замѣнивъ клепку—пайкой; такая труба-расширитель показана на табл. 92, фиг. 8—11. Матеріалъ волнъ—въ обоихъ случаяхъ *красная мѣдь*.

Путиловскій Заводъ въ С.-Петербургѣ весьма остроумно упростилъ конструкцію такой гибкой трубы въ своихъ Маллетовскихъ паровозахъ (такъ наз. Дуплексахъ). Гибкая труба-расширитель Путиловскаго завода показана на табл. 80, фиг. 8—9. Эта труба—*цѣльная*, стальная, такъ что ни пайки ни клепки не требуется при ея изготовленіи.

При проэктированіи всякихъ конструкцій, подобныхъ описаннымъ сейчасъ волнистымъ трубамъ, опять слѣдуетъ помнить сказанное на стр. 35.

2-й классъ. Скользящіе и поворотные расширители.

§ 123. Въ этихъ расширителяхъ необходимое перемѣщеніе достигается благодаря строго опредѣленному напередъ кинематически перемѣщенію двухъ частей расширителя, образующихъ другъ съ другомъ какую нибудь низшую кинематическую пáру, чаще всего поступательную, рѣже—вращательную.

а). Расширители съ поступательными пáрами.

Однимъ изъ наиболѣе простыхъ и весьма употребительныхъ расширителей этого класса является обыкновенный скользящій сальникъ показанный не одинъ разъ детально *въ Атласѣ*, именно: на фиг. 16 табл. 63, на фиг. 16—18 табл. 64, на табл. 71, на фиг. 11—13 табл. 67, на фиг. 1 и 2—8 табл. 112, на фиг. 8 табл. 115, на фиг. 1—4 табл. 116 и друг.

Само по себѣ устройство скользящаго расширителя очень просто и при конструированіи его и уходѣ за нимъ приходится бороться съ однимъ лишь существеннымъ затрудненіемъ, именно—съ обезпеченіемъ на долгое время *достаточной мягкости и податливости набивки* и легкой подвижности въ ней скользящей части трубы. При расширителяхъ для воды очень часто, при невнимательномъ уходѣ или при отсутствіи всякаго ухода, что̀ тоже часто бываетъ (мнѣ лично приходилось видѣть сальники водопроводовъ въ ужасномъ состояніи, гдѣ все кругомъ оборжавѣло, и болты, и трубы), а при расширителяхъ для пара — при неудачномъ выборѣ набивочнаго матеріала, особенно при высокомъ давленіи и температурѣ пара, нерѣдко происходитъ два непріятныхъ явленія. Именно, или труба заѣдаетъ въ сальникѣ и перестаетъ двигаться (это обыкновенно бываетъ въ сальникахъ для холодной воды) или же набивка

со временемъ дѣлается жесткой, теряетъ свою мягкость и не держитъ, сальникъ начинаетъ пропускать. Для возможнаго устраненія этихъ недостатковъ и придуманы разнообразныя конструкціи скользящихъ расширителей, встрѣчаемыя въ практикѣ.

Для того, чтобы скользящая часть трубы не заѣдала бы въ сальникѣ, слѣдуетъ дѣлать эту входящую внутрь сальника часть трубы непремѣнно *изъ бронзы*, * какъ на фиг. 16 табл. 63, что и выполняется во всѣхъ серьезныхъ случаяхъ, а также слѣдуетъ вставлять бронзовую втулочку и въ грундбуксу и въ крышку сальника, въ которыхъ ходитъ эта скользящая часть; въ очень серьезныхъ случаяхъ дѣлаютъ изъ бронзы и весь расширитель (сальники пароходнаго паропровода, фиг. 1—4 табл. 116). Для устраненія затвердѣванія набивки въ настоящее время употребляютъ различныя спеціальныя набивки, въ которыхъ, въ случаѣ паропроводовъ, главную роль играютъ обыкновенно азбестъ и графитъ ** (какъ напр. въ расширителѣ Кёнига, см. далѣе), или же примѣняютъ *металлическую* набивку, табл. 71; слѣдуетъ прибавить, что размѣры расширителя, приведенные на этой таблицѣ, расчитаны на давленіе пара до 200 фунтовъ на □ дюймъ, и на удлиненіе трубопровода, равное 3 дюймамъ.

Относительно конструкціи скользящихъ расширителей вообще можно замѣтить слѣдующее. Скользящую часть желательно дѣлать изъ бронзы, какъ уже сказано. Но изъ какого бы матеріала не была сдѣлана эта часть, слѣдуетъ сдѣлать на томъ ея мѣстѣ, которое ходитъ въ сальникѣ, рабочую поверхность, т. е. утолщеніе, которое протачивается, какъ это видно, напримѣръ, на фиг. 16 табл. 64, на фиг. 1 табл. 71, на фиг. 2 табл. 112 и др. *Глубина* сальника берется различно, въ зависимости отъ рода набивки и даже личныхъ взглядовъ конструктора; указанія по этому поводу даются въ курсахъ деталей машинъ; для обыкновенной органической набивки можно, напримѣръ, при небольшихъ трубахъ, довольствоваться размѣромъ $0{,}7d$, указаннымъ на фиг. 16, табл. 64 (можно брать и $0{,}5d$), а для сальника съ металлической набивкой— данными таблицы 71. Длину грундбуксы тоже можно брать какъ на фиг. 16, т. е. $0{,}5d$ и меньше, такъ до $0{,}3d$. Толщина набивки показана на той же фигурѣ равной $1{,}5\delta$, но эта формула не имѣетъ особаго значенія, такъ какъ разсматриваемая ширина зависитъ всецѣло отъ рода набивки. Для простой органической набивки (пенька и пр.) Дональдсонъ даетъ этотъ размѣръ равнымъ $0{,}125d$.

Относительно расширителя, изображеннаго въ *Атласѣ* на фиг. 21—22 табл. 119, слѣдуетъ указать, что чертежъ расположенія котловъ, при которыхъ такіе расширители примѣнены, имѣется въ журналѣ „The Engineer“, 1904 г., 15 Апрѣля, стр. 385.

Кромѣ помѣщенныхъ въ *Атласѣ* расширителей опишемъ еще два расширителя для пара. Первый изъ нихъ показанъ на чер. 305. Здѣсь скользящая часть ходитъ въ стаканѣ сальника съ нѣкоторымъ зазоромъ, такъ что возможны небольшія боковыя перемѣщенія трубы, а набивка, въ видѣ одного или двухъ колецъ изъ металлическаго сердечника, окруженнаго азбестомъ, кладется въ коническое кольцевое пространство, и сжимается паромъ, давящимъ на разрѣзную втулку. Устройствомъ же этой разрѣзной втулки получена возможность перебивать набивку сальника путемъ отодвиганія стакана, какъ показано на нижней фигурѣ. Сальникъ устроенъ Англійской фирмою Thomas Richardson and Sons, of Hartlepool, и съ успѣхомъ работалъ на судахъ при давленіи пара въ 220 фунтовъ, имѣя лишь одно кольцо прокладки въ коническомъ пространствѣ, выдерживалъ сотрясенія въ паровыхъ котлахъ и пр. Труба скользитъ очень легко и свободно.

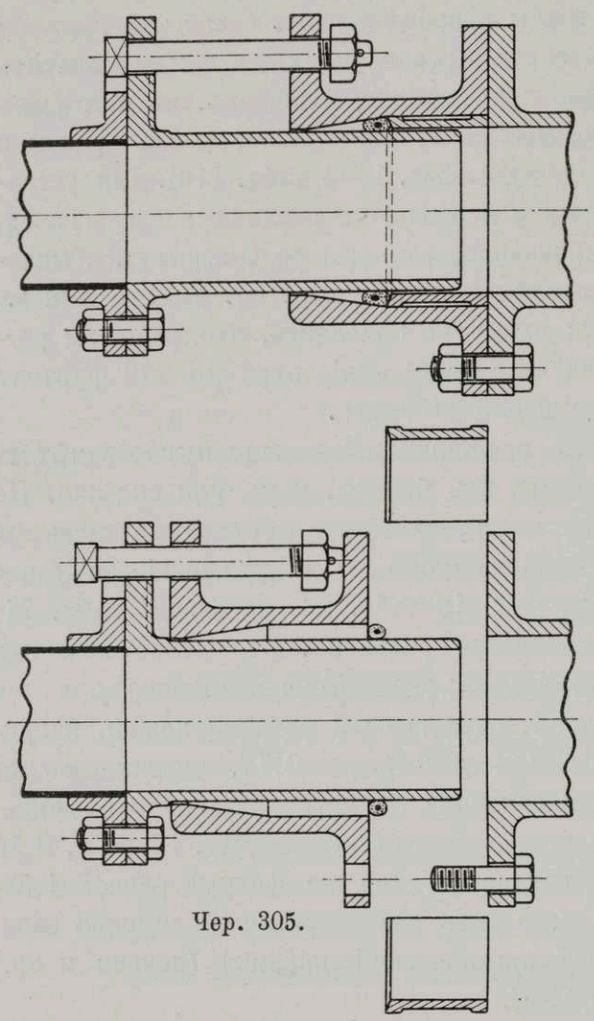
---

* или, по крайней мѣрѣ, одѣть чугунную часть снаружи тонкимъ бронзовымъ чехломъ.

** Утеманнъ, въ журналѣ Нѣмецкихъ Инженеровъ, 1906 г. № 47, бранитъ даже и азбестовую набивку и рекомендуетъ, какъ очень долговѣчную (полтора года безъ возобновленія), свою собственную, состоящую изъ тонкихъ коническихъ мѣдныхъ колецъ, напоминающихъ, по своему дѣйствію, таковую же набивку изъ кожаныхъ кружковъ при гидравлическихъ прессахъ, насосахъ и пр.

При азбестовой набивкѣ онъ рекомендуетъ скользящую часть трубы натирать графитомъ, и мѣнять набивку не рѣже, какъ каждые полгода.

За послѣднее время получилъ извѣстность расширитель Кёнига, изображенный на чер. 306 *. Здѣсь набивка для скользящей части трубы сдѣлана весьма короткой и представляетъ изъ себя попросту кольцо изъ спеціальнымъ образомъ приготовленнаго азбестоваго шнура, который не твердѣетъ со временемъ и хорошо сопротивляется дѣйствію высокой температуры. Вся та часть наружнаго корпуса, въ которой ходитъ скользящая часть другой трубы, омывается паромъ, такъ какъ соединена съ корпусомъ только ребрами; паромъ же омывается и внутренній конецъ стакана или крышки, входящей въ сальникъ. Благодаря тому, что все это мѣсто омывается паромъ, оно имѣетъ ту же температуру, какъ и скользящая труба, а это весьма важно, такъ какъ этимъ обезпечивается отсутствіе защемленія трубы, наблюдаемаго въ другихъ скользящихъ расширителяхъ, гдѣ различныя работающія части имѣютъ различную температуру, такъ какъ однѣ омываются паромъ, а другія—нѣтъ; здѣсь же такое неравенство температуръ устранено.

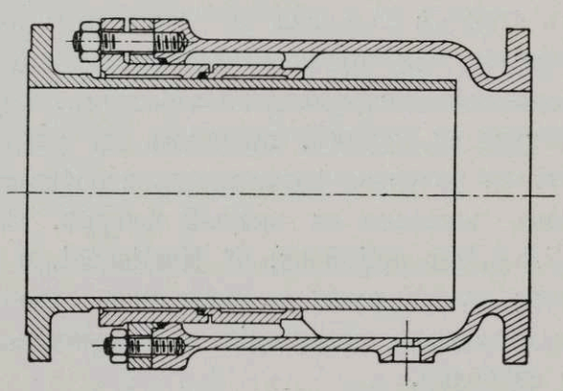


Чер. 305.

Профессоръ Рижскаго Политехническаго Института Берловъ произвелъ опыты съ такимъ расширителемъ и получилъ слѣдующіе результаты:

Сальникъ съ внутреннимъ діаметромъ въ 125mm, подъ давленіемъ въ 12 атм., заставляли совершать ходы взадъ и впередъ отъ привода; расширитель выдержалъ 94000 двойныхъ ходовъ прежде, чѣмъ сальникъ началъ парить и потребовалось подтянуть набивку. Это весьма благопріятный результатъ. Треніе при движеніи скользящей части весьма незначительно, какъ показали опыты съ уравновѣшеннымъ сальникомъ подобной же системы, о чемъ будетъ сказано далѣе.

Были предложены скользящіе расширители и совсѣмъ безъ набивки (см., напр., „The Practical Engineer“, 1908 г., July 17, стр. 70, гдѣ двѣ приточенныхъ пары втулокъ скользятъ другъ по другу), но едва ли возможно сохранить при нихъ герметичность на долгое время.



Чер. 306.

Скользящій расширитель есть конструкція весьма старая и очень употребительная. Свое прямое назначеніе — давать трубопроводу, въ который онъ вставленъ, возможность свободно расширяться, расширитель выполняетъ вполнѣ хорошо, почему и до сихъ поръ встрѣчается весьма

* Этотъ расширитель (а также и уравновѣшенный расширитель подобной же системы) сконструированъ Кёнигомъ, директоромъ Русскаго завода въ Ригѣ „Русская фабрика металлическихъ рукавовъ“, который готовитъ металлическіе гибкіе рукава, и строится этимъ заводомъ и нѣкоторыми другими фирмами, напр. Берлинской фирмою „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“.

часто. Но конструкція эта бываетъ иногда очень опасна въ рукахъ невѣжественныхъ и не развитыхъ технически людей и была причиною цѣлаго ряда несчастій, сопряженныхъ съ большими матеріальными убытками, и въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже съ ожогами и смертію людей.

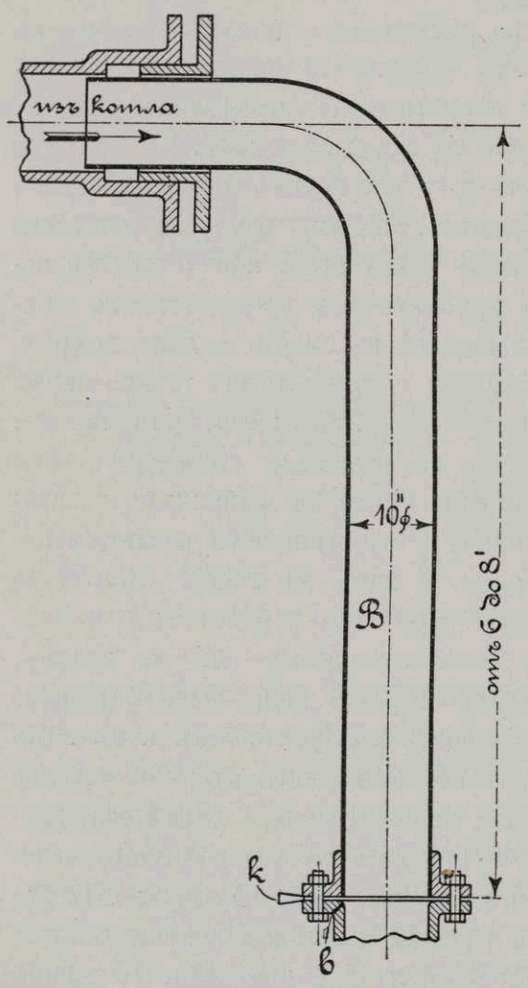
Дѣло въ томъ, что такой расширитель совершенно не способенъ передавать черезъ себя *продольныя* силы, имѣющіяся въ трубопроводѣ, какъ мы это пояснили раньше (стр. 36). Онъ какъ бы *совершенно перерѣзываетъ* линію трубопровода и каждая изъ половинъ трубопровода не способна тогда сама по себѣ сопротивляться дѣйствію вырывающей силы P; только въ рѣдкихъ случаяхъ трубы бываютъ настолько прочны, что могутъ успѣшно сопротивляться дѣйствію силы P. Гораздо же чаще трубы не могутъ представить ей достаточнаго сопротивленія и одна часть скользящаго сальника можетъ быть вырвана изъ другой (чер. 27).

Весьма важно запомнить, что такое вырываніе не только **возможно теоретически**, но что оно и *дѣйствительно происходило въ практикѣ* въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ неразумными или невнимательными конструкторами не принималось никакихъ мѣръ къ тому, чтобы трубопроводъ, не смотря на перерывъ его сплошности скользящимъ сальникомъ, былъ бы въ состояніи оказывать достаточное сопротивленіе вырывающей силѣ P, дѣйствующей на одну или и на обѣ вѣтви его, смотря по ихъ заворотамъ. Если такихъ мѣръ не принято, то трубу иногда вырываетъ совсѣмъ вонъ изъ грундъ-буксы, особенно, если часть трубы, входящая въ эту послѣднюю — коротка. Такихъ случаевъ извѣстно въ технической литературѣ нѣсколько, а еще больше неизвѣстно, ибо о такихъ непріятныхъ происшествіяхъ и хозяинъ и поставщикъ трубопровода предпочитаютъ молчать, а никакъ не болтать, развѣ ужъ кого сваритъ паромъ на смерть и дѣло дойдетъ до начальства, а то и до суда. Въ странахъ съ правильно поставленнымъ техническимъ надзоромъ со стороны правительства за промышленностію, напр. въ Англіи, существуетъ, какъ уже сказано, прекрасный обычай — публиковать во всеобщее свѣденіе отчеты фабричной инспекціи о всѣхъ происшествіяхъ, имѣющихъ мѣсто на фабрикахъ и заводахъ (по преимуществу изъ области паровой техники) и эти матеріалы являются неоцѣненными для серьезно изучающаго машиностроеніе. У насъ въ Россіи фабричная инспекція обременена массой занятій не техническаго характера и отчетовъ о наблюдаемыхъ ею происшествіяхъ (да и все ли доходитъ до ея свѣденія?) — мы не видимъ, о чемъ надо очень пожалѣть и пожелать, чтобы на эту сторону дѣла было обращено самое серьезное вниманіе, какъ въ интересахъ безопасности рабочихъ, такъ и въ интересахъ преуспѣянія техники. Такой матеріалъ отрицательнаго характера иногда бываетъ гораздо поучительнѣе, чѣмъ наставленія и разсужденія положительнаго характера, преподаваемые въ руководствахъ по машиностроенію; примѣромъ такого полезнаго матеріала отрицательнаго характера можетъ служить и извѣстная книга Хедера: „Больная Паровая Машина“, переведенная мною на Русскій языкъ и дополненная мною многими примѣрами изъ Англійской и Американской и моей личной практики. На такихъ отрицательныхъ примѣрахъ молодой конструкторъ и механикъ учатся гораздо лучше, чѣмъ на сухихъ конструктивныхъ рецептахъ положительнаго характера, и съ этой точки зрѣнія надобно всѣми силами стараться, чтобы для общаго блага всевозможные случаи поломокъ и болѣзней, обличающіе людскую глупость, или невниманіе, или недобросовѣстность, **вытаскивались бы непремѣнно на свѣтъ Божій** и дѣлались бы достояніемъ всего техническаго міра, для общей пользы, какъ ни непріятно это будетъ, конечно, заинтересованнымъ лицамъ. Но въ такихъ серьезныхъ вопросахъ, какъ безопасность рабочихъ и публики и отсутствіе нарушенія хода производства разными поломками, частные интересы должны быть приносимы въ жертву общимъ.

Насколько въ этомъ отношеніи проявляютъ преступную скрытность не только частные фабриканты, но даже и правительства цивилизованныхъ государствъ, показываетъ слѣдующій безпримѣрный въ исторіи техники случай, происшедшій въ странѣ, мнящей себя теперь первою въ мірѣ по развитію техники—въ Германіи. Въ 1894 году

на Германскомъ броненосцѣ „Бранденбургъ“ произошло небывалое несчастіе, о которомъ появились лишь краткія замѣтки, объявлявшія что „сломалась“ (?) паровая труба и вырвавшимся паромъ сварило на смерть болѣе *сорока* человѣкъ! Нѣмецкіе технические журналы прибавили, что вскорѣ они не замедлятъ „дать подробности“, но и до сихъ поръ публика тщетно ждетъ ихъ. Имперское Германское Правительство предпочло *скрыть* причину взрыва и въ Германіи **ничего больше не было напечатано.** Но другимъ странамъ ротъ не зажмешь и въ Англійскомъ журналѣ „Engineering“ за 1894 г. появилась краткая замѣтка, гдѣ разъясняется, въ чемъ дѣло.

Оказывается, что на первоклассномъ Германскомъ броненосцѣ Нѣмецкіе конструкторы сдѣлали на главной паропроводной трубѣ простой скользящій сальникъ и *не приняли рѣшительно никакихъ мѣръ къ тому, чтобы помѣшать его вырыванію!!!* Его и вырвало — а въ результатѣ сварено на смерть 4 десятка людей! Неизвѣстно, какая кара постигла виновныхъ за такое преступное невниманіе, но самая худшая кара — это пятно позора, которымъ покрыли себя эти инженеры передовой въ техникѣ страны.



Чер. 307.

По краткимъ свѣденіямъ, собраннымъ съ большимъ трудомъ авторомъ сказанной замѣтки, сальникъ имѣлъ видъ подобный чер. 307, такъ что вертикальное колѣно B было очень длинно и потому, не будучи ничѣмъ закрѣплено, оно отогнулось настолько, что короткая часть трубы вылѣзла вонъ изъ сальника и паръ вырвался наружу.

Дѣло, повидимому, происходило такъ. Когда паръ былъ пущенъ въ паропроводъ, въ мѣстѣ соединенія трубы B съ ниже лежащей трубой, съ лѣвой стороны, появилась течь, что̀ было, конечно, вполнѣ естественно и чего слѣдовало ожидать. Говорятъ, что для прекращенія этой течи былъ забитъ въ щель клинъ k, благодаря чему чугунный (!) флянецъ сломался при b, и труба B, ничѣмъ теперь неудерживаемая, моментально выскочила изъ сальника и произошло извѣстное страшное несчастіе.

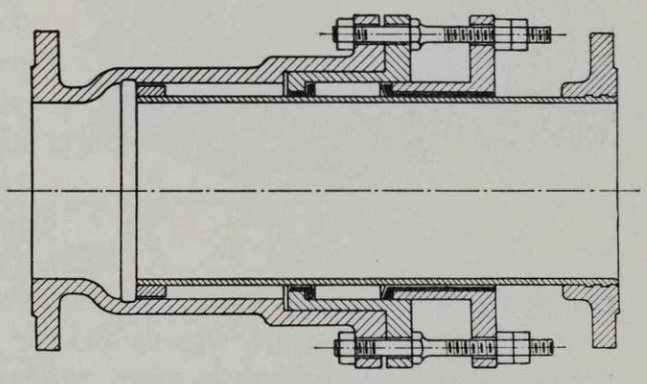
Для того, чтобы избѣжать такихъ и подобныхъ имъ ужасныхъ происшествій, необходимо, какъ уже пояснено и раньше, въ общей части книги, принять мѣры къ надежному уравновѣшиванію вырывающей силы P. Это можетъ быть сдѣлано двумя путями: можно или воспринять силу P внѣшними, такъ сказать устройствами, или же можно поглотить ее *въ самомъ трубопроводѣ*, не давая ей выйти за его стѣнки.

Для воспринятія силы P по первому способу должны быть устроены какія нибудь детали, препятствующія части трубы, имѣющей заворотъ на большой уголъ, отгибаться. Подобныя устройства были уже описаны раньше; это или лапы, упирающіяся въ фундаментъ, стѣну и т. п., или же тяги, прикрѣпленныя къ стѣнѣ, колоннѣ и пр., причемъ необходимо, конечно, подумать и о томъ, чтобы фундаментъ, стѣна, колонна, балка и пр. были бы сами въ состояніи выдержать безопасно эту новую нагрузку, передаваемую на нихъ въ дополненіе къ ихъ собственной нагрузкѣ, и если онѣ слабы, то усилить ихъ соотвѣтствующимъ образомъ.

Примѣромъ воспринятія силы по этому способу можетъ служить табл. 69 *Атласа*, фиг. 11. Здѣсь предполагается, что и на правой части трубы тоже можетъ

имѣться загибъ, такъ что и лѣвая и правая часть трубопровода должны быть удержаны отъ вырыванія. *Лѣвая* часть удерживается совершенно понятнымъ образомъ; къ чугунному (или стальному) колѣну прилита лапа, которая упирается въ стѣнку. Чертежъ изображаетъ трубопроводъ парохода и лапа упирается въ переборку или стѣнку, которая для достаточнаго сопротивленія усилена какимъ нибудь фасоннымъ желѣзомъ, чтобы не прогнулась. *Правая* часть трубопровода устроена нѣсколько иначе. Она не задержана непосредственно ничѣмъ и до извѣстной степени можетъ двигаться отъ дѣйствія вырывающей силы P, которая сперва воспринимается просто упругимъ сопротивленіемъ загиба, связаннаго съ правой горизонтальной частію сальника, какъ объ этомъ говорилось на стр. 36. Но, когда въ силу какихъ либо обстоятельствъ эта часть трубы начинаетъ подаваться слишкомъ много, такъ что грозитъ изломомъ своимъ, или вырывомъ изъ сальника, тогда только начинаетъ дѣйствовать предохранительное, такъ сказать, приспособленіе, видное на чертежѣ. Именно, на скользящей въ сальникѣ бронзовой части правой трубы сдѣланы флянцы, сквозь которые проходятъ болты, на коихъ имѣются гайки и контръ-гайки, установленныя при сборкѣ трубопровода такъ, что флянецъ не прикасается къ гайкамъ даже и тогда, когда трубопроводъ совершенно холоденъ, а тѣмъ болѣе еще далѣе отходитъ отъ нихъ, когда онъ горячъ. Но когда деформація всей правой части трубы достигаетъ опасныхъ предѣловъ и правая часть сальника готова выскочить изъ лѣвой, тогда предохранительный флянецъ прилегаетъ къ гайкамъ и препятствуетъ выскакиванію. На фиг. 11 показано обычное устройство, когда эти предохранительные болты въ то же время работаютъ своею крайнею лѣвою частію какъ и болты сальника, но, вообще, эти двѣ системы болтовъ могутъ быть выполнены и отдѣльно, и притомъ съ разнымъ числомъ болтовъ и разнаго рода діамстра, если бы это потребовалось.

Для безопасности слѣдуетъ смотрѣть на задерживающіе болты правой части лишь какъ на *предохранительное* устройство, назначенное только для того, чтобы помѣшать *окончательному*, полному вырыванію правой части, **но никоимъ образомъ не считать ихъ за уравновѣшивающее устройство**, способное воспринимать силу P. Это должно быть достигнуто другими средствами, напр. достаточной прочностію самого праваго колѣна и т. п.



Чер. 308.

Вмѣсто предохранительныхъ болтовъ для предотвращенія окончательнаго вырыванія скользящей части трубы изъ сальника нерѣдко устраиваютъ попросту буртикъ или кольцо на концѣ скользящей въ сальникѣ части, подобное тому, которое видно на фиг. 7 табл. 118 (залито чернымъ); но, разумѣется, тогда, для возможности сборки и разборки, стаканъ сальника долженъ быть отъемнымъ. Такое кольцо дастъ еще и другую выгоду—именно, оно является второю опорою для скользящей внутри сальника части трубы, способствуетъ лучшему направленію ея, устраняя возможность перекашиванія и заѣданія отъ ущемленія. Весьма уютная конструкція расширителя такого устройства, употребляемая часто въ шахтныхъ трубопроводахъ, показана на чер. 308.

Необходимо еще замѣтить, что предохранительные болты, какъ это справедливо указываетъ въ своемъ докладѣ о пароходныхъ паропроводахъ Мильтонъ, и какъ показываютъ нѣкоторые случаи взрывовъ расширителей, являются иногда не источникомъ предохраненія, а источникомъ *разрушенія*. Въ самомъ дѣлѣ, если въ то время, когда скользящая часть вошла вглубь сальника, при наибольшей температурѣ трубопровода, кто нибудь, по глупости или нарочно, подтянетъ гайки предохранительныхъ болтовъ до соприкосновенія съ предохранительнымъ флянцемъ скользящей части, т. е.

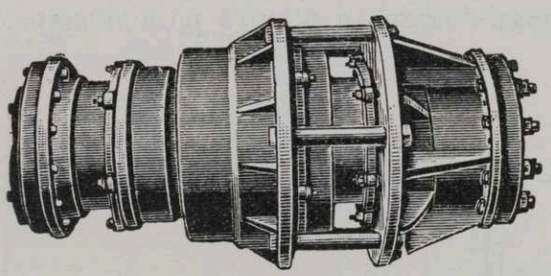
помѣшаетъ возвращенію скользящей части въ прежное положеніе, то, при остываніи трубопровода, вдоль его разовьется огромная сила, и что̀ нибудь непремѣнно будетъ сломано. Для предотвращенія подобныхъ казусовъ Мильтонъ рекомендуетъ тщательно вывѣрить положеніе гаекъ при холодномъ паропроводѣ и затѣмъ замкнуть ихъ шплинтами или одѣть крышками такъ, чтобы ихъ нельзя было свернуть съ мѣста. Онъ же правильно замѣчаетъ, что хорошо спроектированный скользящій расширитель не нуждается ни въ какихъ предохранительныхъ болтахъ.

Нечего говорить о томъ, что, помимо поломки, при неправильномъ положеніи гаекъ, предохранительные болты могутъ совсѣмъ не предохранять, а между тѣмъ возможно, что на нихъ будутъ надѣяться.

По второму способу сила P воспринимается или уравновѣшивается, такъ сказать, внутри самого трубопровода и тогда получаются конструкціи, называемыя уравновѣшенными или *разгруженными* расширителями или компенсаторами, которыми теперь и займемся.

Однимъ изъ наиболѣе простыхъ и типичныхъ расширителей этого рода является расширитель *Дене* (Dehne), показанный на фиг. 5—6 табл. 64 въ томъ видѣ, какъ его готовитъ массовымъ образомъ сама фирма Дене. На фиг. 19 той же таблицы и на фиг. 3—4 табл. 63 показаны расширители типа Дене, конструированные въ Америкѣ для спеціальныхъ случаевъ.

Не трудно понять, въ чемъ состоитъ остроумная идея Дене. Вырывающую силу для обѣихъ половинокъ сальника, какъ для лѣвой, такъ и для правой, онъ воспринимаетъ самимъ же трубопроводомъ, заставляя его на извѣстной части длины подвергаться растяженію въ поперечныхъ сѣченіяхъ. Для этой цѣли онъ просто перегораживаетъ трубопроводъ поперечною стѣнкой, давленіе на которую и уравновѣшиваетъ собою вырывающую силу. Но для того, конечно, чтобы этимъ не преградить жидкости возможности свободно течь по трубопроводу, приходится пускать ее въ бока, дѣлая два боковыхъ отвѣтвленія, присутствіе которыхъ ничего не измѣняетъ, однако, въ распредѣленіи силъ *.



Чер. 309.

Слѣдуетъ указать еще на то, что Американцы (проф. Барръ въ своемъ курсѣ котловъ и др.) приписываютъ этотъ расширитель нѣкоему Пирсону (Pearson). На чьей сторонѣ первенство—рѣшить я въ настоящее время не могъ.

На фиг. 10 табл. 64 и на фиг. 1—2 табл. 69 (эта послѣдняя конструкція въ перспективномъ видѣ приведена еще и на чер. 309) изображены два уравновѣшенныхъ расширителя, идея устройства которыхъ одна и та же, разница же имѣется лишь въ конструктивномъ выполненіи. Идею уравновѣшиванія не трудно понять, начертивъ отдѣльно лѣвую и правую часть расширителя и написавъ условія равновѣсія ихъ.

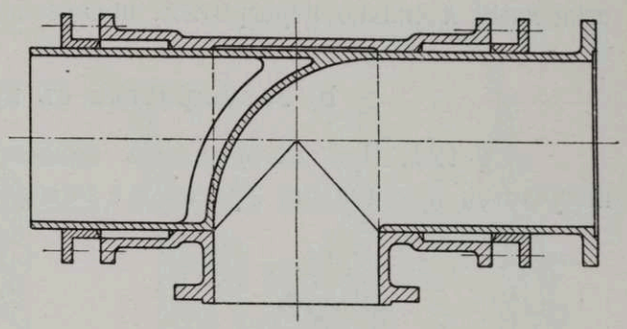
На той же самой идеѣ основанъ и уравновѣшенный расширитель сист. Frahm, показанный на фиг. 3 табл. 73.

Не трудно также найти соотношеніе, которое должно существовать между наружнымъ діаметромъ трубы D_2 и діаметромъ части, ходящей во второмъ, большемъ сальникѣ D_1 (фиг. 3, табл. 73), необходимое для уравновѣшиванія въ подобныхъ расширителяхъ; именно должно быть выполнено соотношеніе:

$$\frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{\pi D_2^2}{4}, \quad \text{откуда} \quad D_1 = D_2\sqrt{2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (141).$$

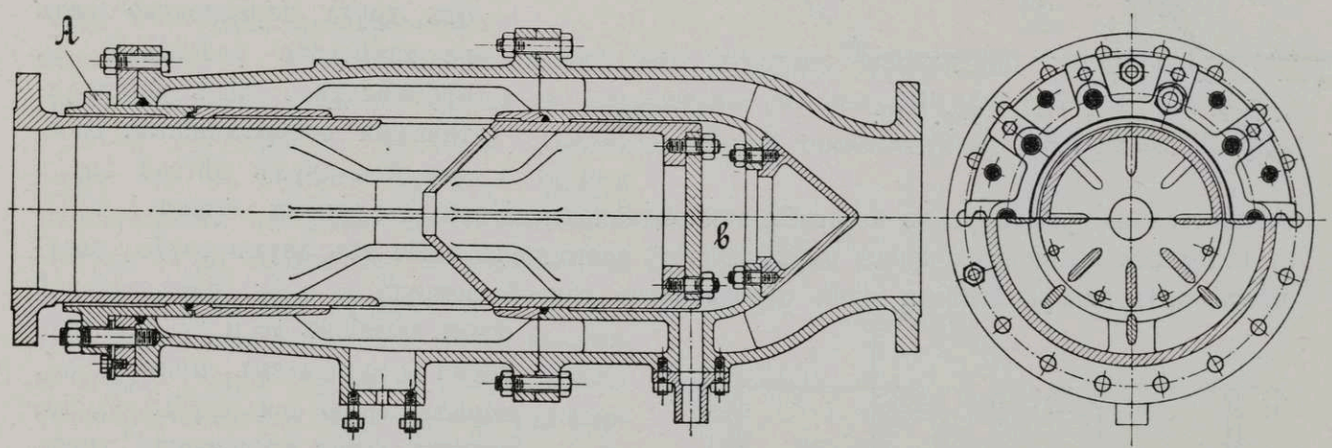
* Учащимся рекомендуется для упражненія вычертить отдѣльно лѣвую и правую часть расширителя Дене, предполагая на той и на другой присутствіе колѣнъ съ загибомъ на 90° и написать условія равновѣсія ихъ, приложивъ къ каждой изъ нихъ соотвѣтствующія силы давленія жидкости.

На чер. 310 показано очень простое устройство уравновѣшеннаго расширителя, подобное изображенному на табл. 63, фиг. 3—4; эти устройства, однако, могутъ быть осуществлены лишь въ томъ случаѣ, когда направленіе трубы приходится измѣнить на перпендикулярное къ прежнему, или, вообще, на уголъ, близкій къ прямому. Кривая стѣнка съ лѣвой стороны скользящей части вполнѣ уравновѣшиваетъ продольную осевую силу, подобно тому, какъ и въ расширителѣ Дене.



Чер. 310.

На фиг. 1—2 табл. 65 показанъ уравновѣшенный расширитель фирмы Dehne такъ называемой „укороченной конструкціи“, такъ какъ онъ занимаетъ въ длину менѣе мѣста, нежели обыкновенный расширитель той же фирмы. Здѣсь вырывающая сила уравновѣшивается давленіемъ жидкости на поршень или скалку, имѣющій діаметръ меньшій, нежели діаметръ трубопровода, и помѣщенный въ сторонѣ отъ оси трубы. Этотъ поршень при помощи рычаговъ и тягъ связанъ съ лѣвою, подвижною частію трубопровода, которую онъ и уравновѣшиваетъ. Правая же часть трубопровода здѣсь закрѣпляется неподвижно, для чего она и снабжена внизу фундаментной плитой, въ которой устроенъ цилиндръ, содержащій въ себѣ уравновѣшивающій поршень. Отношеніе діаметровъ трубы и уравновѣшивающаго поршня обусловлено, конечно, отношеніемъ плечъ рычаговъ. Достоинство этого расширителя со-



Чер. 311.

стоитъ въ томъ, что онъ не представляетъ никакихъ препятствій теченію жидкости; жидкость здѣсь не принуждена отклоняться въ сторону, какъ въ обыкновенномъ расширителѣ Дене и ему подобныхъ.

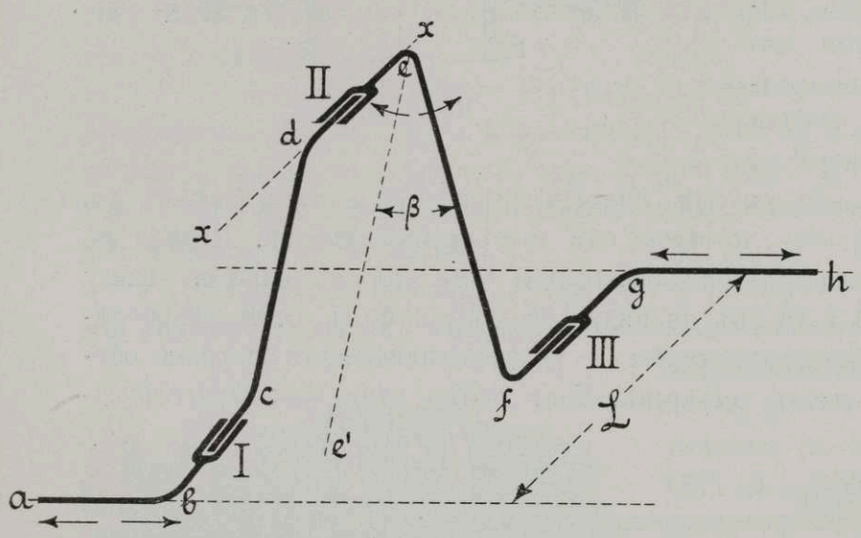
За послѣднее время получилъ извѣстность для паропроводовъ уравновѣшенный расширитель Кёнига, чер. 311. Какъ видно, въ основу этой системы положена мысль Дене, но только конструктивное выполненіе здѣсь иное. Для проводки отклоненнаго въ сторону пара здѣсь сдѣлано не два рукава, какъ у Дене, а сплошной кольцевой каналъ, окружающій концентрически скользящую трубу и ея сальники. Такимъ измѣненіемъ достигается то, что расширитель становится не такимъ широкимъ, какъ у Дене, и съ удобствомъ можетъ быть покрытъ одеждой и изолирующей массой для защиты отъ охлажденія. Сальники и набивки здѣсь совершенно такіе же, какъ и въ неуравновѣшенномъ расширителѣ Кёнига, описанномъ на стр. 424. Обѣ набивки подтягиваются сразу, нажимомъ на крышку *A*. Пространство *b* сообщено съ воздухомъ, какъ у Дене.

Достоинства уравновѣшеннаго расширителя Кёнига тѣ же, какъ и неуравновѣшеннаго: легкая подвижность, отсутствіе порчи и пригаранія набивки, уютность.

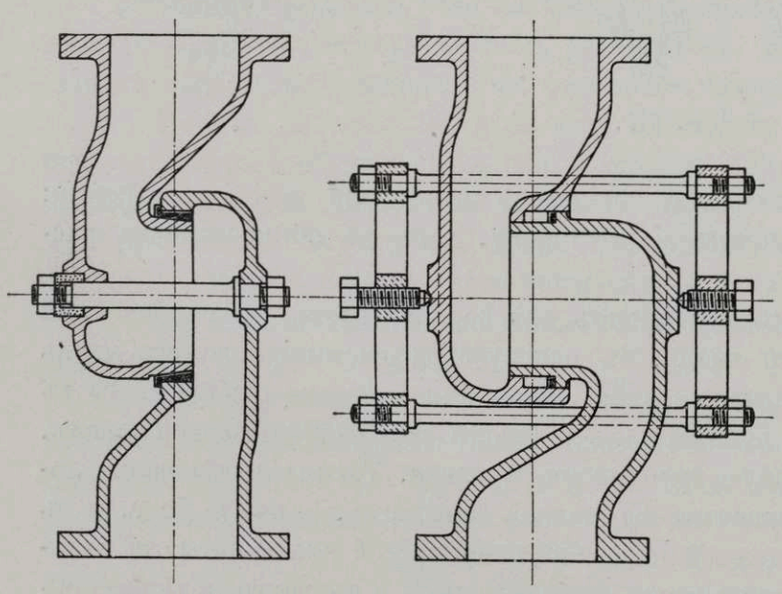
Профессоръ Берловъ производилъ опыты съ измѣреніемъ силы, необходимой для того, чтобы сдвинуть съ мѣста скользящую часть расширителя (измѣряя эту силу посредствомъ сжатаго воздуха, впускавшагося въ пространство *b*), и нашелъ ее незначительною. Профессоръ же Іоссе испытывалъ сальникъ вообще въ смыслѣ его работы, и свидѣтельствуетъ, что въ теченіе 13 мѣсяцевъ сальникъ работалъ хорошо, не требуя подтягиванія и не обнаруживая никакихъ недостатковъ. Паръ проходилъ по немъ и насыщенный и сильно перегрѣтый, попеременно.

b) Расширители съ вращательными пáрами.

§ 124. При *поворотныхъ* компенсаторахъ вполнѣ опредѣленная подвижность получается при помощи вращательныхъ паръ. Примѣромъ такой конструкціи служитъ циркульный компенсаторъ, схема котораго (въ перспективѣ) показана на чер. 312. Какъ видно, устройство состоитъ изъ двухъ параллельныхъ трубъ *ab* и *gh*, которыхъ расширеніе и долженъ поглотить компенсаторъ. Стало быть, здѣсь обѣ эти части трубы не составляютъ продолженія одна другой, какъ при скользящемъ сальникѣ, а отодвинуты другъ отъ друга параллельно себѣ на извѣстное разстояніе *L*, опредѣляемое лишь конструктивными соображеніями. Каждая изъ двухъ вѣтвей трубъ загибается на прямой уголъ и загибы эти оканчиваются вращательными пáрами I и III, въ которыхъ вращаются концы циркуля *cdef*, состоящаго тоже изъ двухъ трубъ, могущихъ опять поворачиваться одна относительно другой вокругъ оси *xx*, параллельной осямъ загибовъ *bc* и *fg*. Если изъ точки *e* проведемъ прямую *ee'*, параллельную оси трубы *dc*, то, значитъ, при расширеніи трубъ мѣняется уголъ $\beta = e'ef$. Такимъ образомъ, расширитель этотъ состоитъ изъ трехъ вращательныхъ паръ: I, II и III *.



Чер. 312.



Чер. 313.

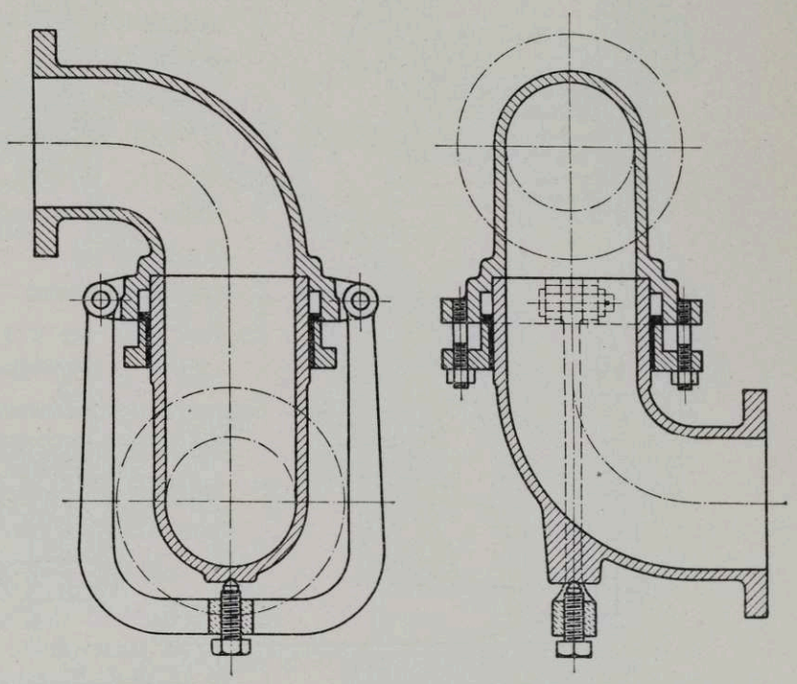
Чер. 314.

Такой циркульный расширитель, весь, какъ одно цѣлое, будетъ уравновѣшеннымъ (въ томъ же смыслѣ, какъ и лировидный); отдѣльные же шарниры его подвергаются дѣйствію выры вающей силы давленія жидкости и должны быть соотвѣтствующимъ образомъ конструированы.

* Вообще говоря, конечно, оси трубъ *ab* и *gh* могутъ и не быть параллельными; для возможности работы расширителя требуется, кинематически, лишь одно условіе, именно, чтобы оси трехъ вращательныхъ паръ, I, II и III, были бы параллельны, а *форма* трубъ роли не играетъ.

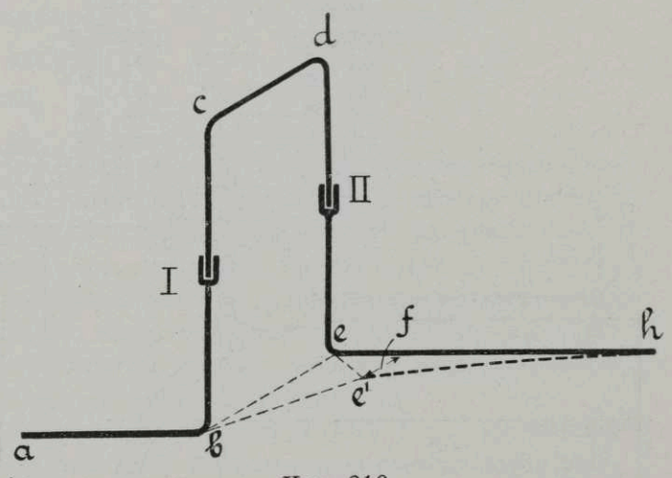
Конструкціи шарнира или вращательной пáры для небольшихъ діаметровъ трубъ, примѣрно, до 100mm, показываютъ чер. 313 и 314. Для бóльшихъ діаметровъ рекомендуется конструкція чер. 315.

Вообще говоря, возможно конструкцію такого циркульнаго расширителя, показанную на эскизѣ, чер. 312, въ самомъ общемъ видѣ, и измѣнить, загнувши, напр., часть трубопровода *gh* впередъ такъ, чтобы обѣ главныя трубы были бы одна на продолженіи другой, т. е. чтобы оси ихъ совпадали.



Чер. 315.

Во многихъ журналахъ и прейскурантахъ описывается упрощенная конструкція циркульнаго расширителя, при которой возможно имѣть только *двѣ* вращательныя пáры; она изображена схематически на чер. 316; при ней оси главныхъ трубъ не совпадаютъ, а параллельны. Не трудно видѣть, что такое устройство **совершенно невозможно,** такъ какъ оно *не представляетъ изъ себя механизма;* для того, чтобы въ обѣихъ вращательныхъ пáрахъ, I и II, здѣсь могъ бы происходить поворотъ, необходимо, чтобы при неподвижности, напр., главной трубы *ab* непремѣнно гнулась бы труба *eh* на величину *f* стрѣлки той дуги *ee'*, которую стремится описать точка *e* вокругъ точки *b*. Но объ этомъ ни въ одномъ описаніи такихъ расширителей (и даже въ серьезныхъ статьяхъ) не говорится; ограничивается ли дѣло упругимъ прогибомъ трубъ (и тутъ опоры для трубъ, все таки, должны позволять такой прогибъ) — неизвѣстно. Такіе расширители строятся многими фирмами, напр. фирмой Зейффертъ въ Берлинѣ.



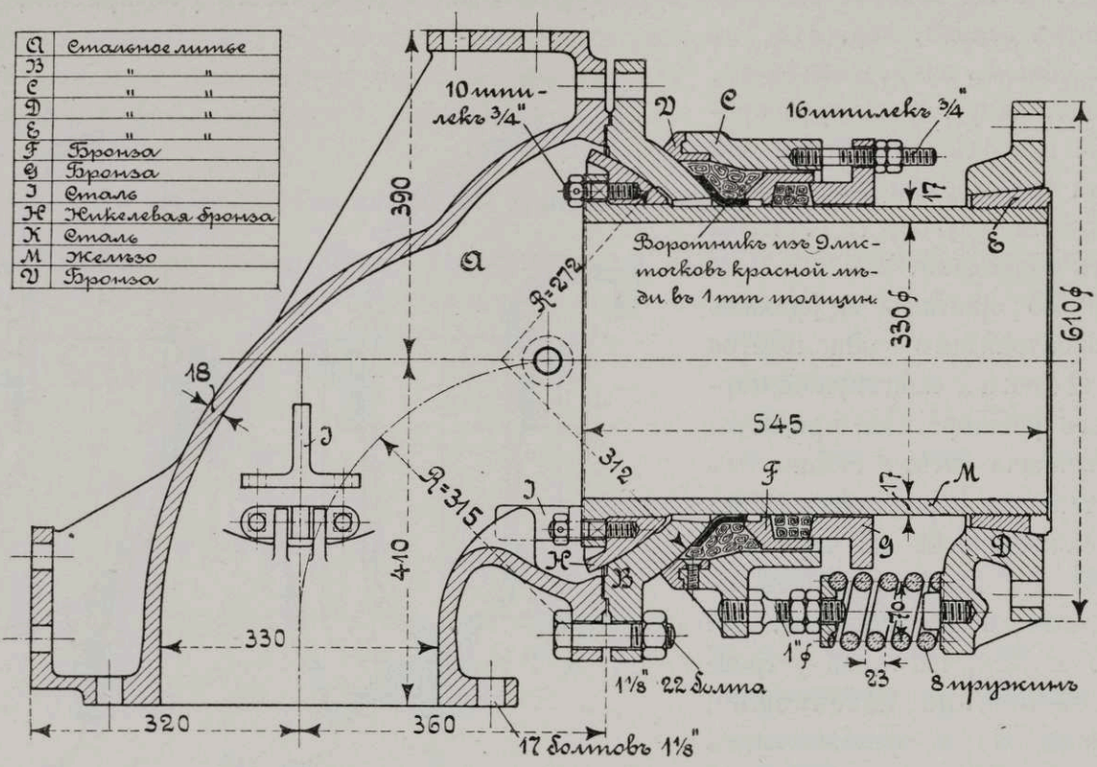
Чер. 316.

Вращательная пáра такого расширителя Англійской конструкціи изображена на табл. 118, фиг. 1—4 *Атласа*. Детали конструкціи не вполнѣ ясны изъ этого чертежа, такъ какъ, безъ зазоровъ въ четырехъ боковыхъ серьгахъ система не является механизмомъ и движенія быть не можетъ, а зазоры въ оригинальномъ чертежѣ не показаны.

Въ настоящее время многіе конструкторы замѣняютъ вращательныя пары поворотныхъ расширителей *шаровыми сочлененіями* съ цѣлью дать трубопроводу бóльшую подвижность; такіе расширители строятъ напр.: фирма Зейффертъ, Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen, Русская Фабрика Металлическихъ Рукавовъ въ Ригѣ.

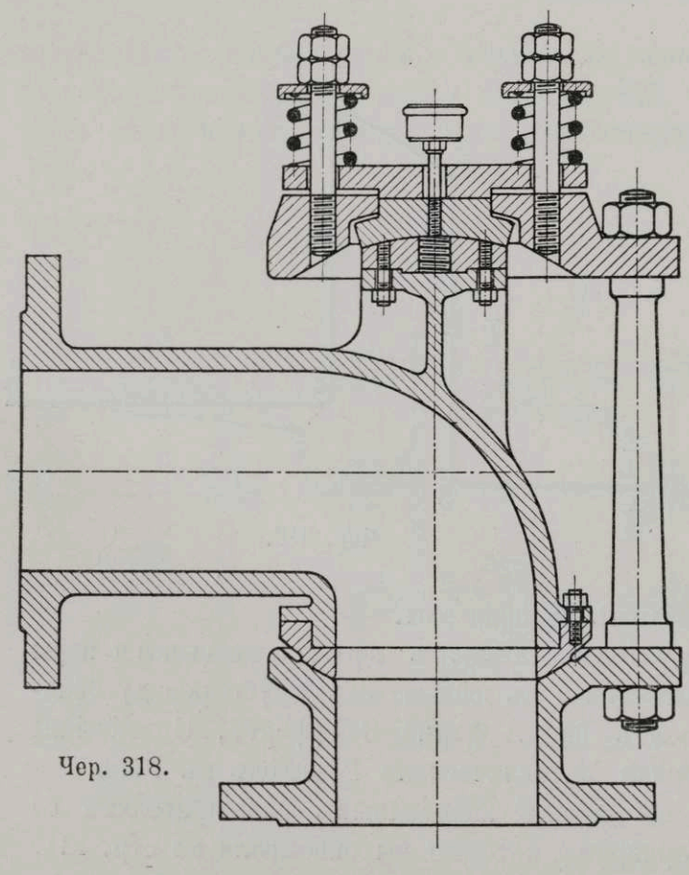
Въ настоящее время Зейффертъ въ своихъ лировидныхъ расширителяхъ со вставленными въ лиру двумя шаровыми шарнирами, которые мы описывали на стр. 421, упростилъ конструкцію шарового шарнира и ввелъ для предварительнаго нажима пришлифованныхъ шаровыхъ поверхностей (который необходимъ для обезпеченія герметич-

ности въ то время, когда пустой паропроводъ начинаетъ наполняться паромъ) пружины; чертежъ одной изъ новыхъ конструктивныхъ формъ такого расширителя, полученный мною лично отъ владѣльца фирмы, имѣется на чер. 317. Дополнительный сальникъ, ви-



Чер. 317.

димый здѣсь, необходимъ только въ тѣхъ случаяхъ, когда расширитель стоитъ на паропроводѣ броненосца или крейсера, такъ какъ при выстрѣлахъ изъ тяжелыхъ орудій шары отъ сотрясенія на мгновеніе расходятся и пропускаютъ паръ. Для поворотныхъ расширителей типа чер. 316 заводъ Зейфферта примѣняетъ вмѣсто цилиндрическихъ паръ вращенія шаровыя сочлененія (называя ихъ „уравновѣшенными“ или „разгруженными“), показанныя на чер. 318, гдѣ нажимъ производится не давленіемъ пара, а силою предварительной затяжки пружинъ.



Чер. 318.

Фирма Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen устраивала до послѣдняго времени въ подобныхъ же расширителяхъ шаровые шарниры по системѣ Бернбурга съ нажимомъ болтами, а не паромъ. Болѣе сложною является строящаяся этой же фирмою конструкція Андритца, которую фирма особенно рекомендуетъ какъ „дѣйствительно“ разгруженную *; она показана на чер. 319; здѣсь паръ пропущенъ къ трущимся мѣстамъ верхней

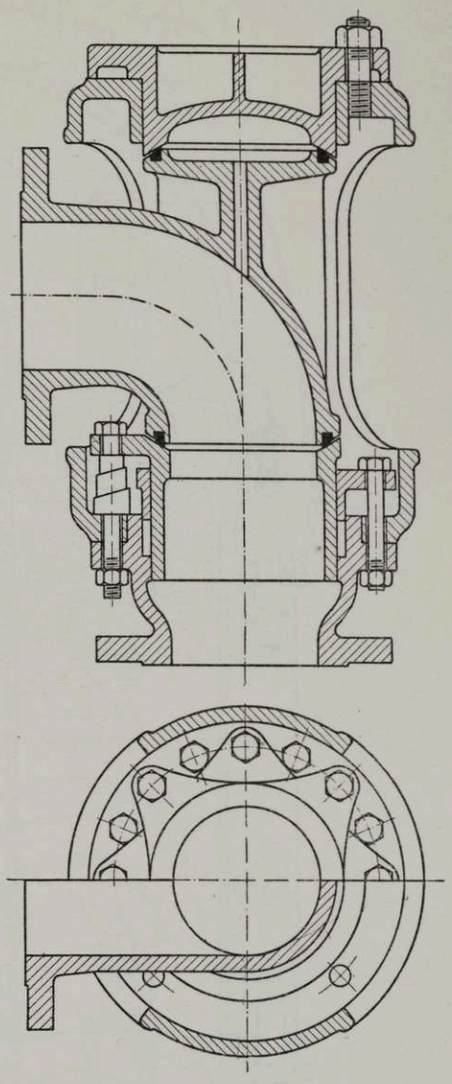
* Вокругъ слова „разгруженный“ расширитель въ послѣднее время между нѣкоторыми Нѣмецкими фирмами поднялась цѣлая война. Причиной этихъ недоразумѣній является просто неопре-

пáры шаровыхъ поверхностей, у которыхъ въ срединѣ сдѣланъ вырѣзъ, и давленіе на главныя шаровыя поверхности возрастаетъ вмѣстѣ съ возрастаніемъ давленія пара; для предварительнаго нажатія при низкомъ давленіи пара служатъ и здѣсь пружины *.

Слабыми сторонами всѣхъ этихъ конструкцій съ шаровыми шарнирами является затруднительность поддерживать безъ прокладокъ герметичность пришлифованныхъ шаровыхъ поверхностей; возможно, что и треніе шарнировъ будетъ довольно велико **.

Въ самое послѣднее время фирма „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“ перестала строить расширители Бернбурга и Андритца и замѣнила ихъ болѣе удобными поворотными расширителями Кёнига, гдѣ работаютъ другъ по другу не двѣ пришлифованныя металлическія поверхности, а металлическая поверхность работаетъ по прокладкѣ Кёнига изъ азбестоваго шнура, которая дала уже хорошіе результаты въ скользящихъ расширителяхъ Кёнига.

Въ этихъ расширителяхъ изобрѣтатель осуществляетъ такую же идею, какую мы видѣли въ шаровомъ сочлененіи Кокерилля (стр. 168—169), именно, вырывающая сила и вообще всѣ силы переданы на особый шарниръ Гука, выполненный въ видѣ простого шара, скользящаго въ шарѣ, а на большія шаровыя поверхности, обезпечивающія герметичность, эти силы не передаются. Расширитель Кёнига изображенъ на чер. 320; внутренній небольшой шаръ a скользитъ въ шаровой оболочкѣ b и воспринимаетъ всѣ силы, а наружныя, большія шаровыя поверхности W и T, имѣющія опять набивку Кёнига изъ препарированнаго азбестоваго шнура, служатъ только для обезпеченія герметичности.



Чер. 319.

дѣленность весьма ходячаго слова „разгруженный“, которымъ стали пользоваться для обозначенія совершенно различныхъ понятій. Впервые это слово было примѣнено къ скользящимъ расширителямъ, и здѣсь оно имѣло и имѣетъ совершенно опредѣленный смыслъ, именно означаетъ, что въ уравновѣшенномъ или разгруженномъ расширителѣ продольная вырывающая сила отъ давленія пара не стремится вытащить трубу изъ сальника, а уравновѣшивается давленіемъ пара на противолежащую стѣнку, какъ у Дене, Кёнига и пр. Но никому не пришло бы въ голову, если расширитель не уравновѣшенъ, а вмѣсто этого концы трубопровода надежно закрѣплены въ неподвижныхъ точкахъ, называть такое устройство „разгруженнымъ расширителемъ“. Это на самомъ дѣлѣ уравновѣшенный трубопроводъ.

Между тѣмъ, въ послѣднее время слово „разгруженный“ стали примѣнять и къ лировиднымъ и къ поворотнымъ расширителямъ, не установивши сначала ясно, что̀ подъ этимъ словомъ здѣсь разумѣть, и поэтому получилась та путаница, которая вызываетъ „разъясненія“ со стороны одной фирмы по адресу другой; между тѣмъ, никакого обмана здѣсь нѣтъ; каждая фирма пишетъ въ своемъ каталогѣ правду, но только одна говоритъ о разгрузкѣ одной вещи, а другая—другой. А между тѣмъ, въ нѣкоторыхъ изъ этихъ случаевъ и совсѣмъ нельзя говорить о разгрузкѣ, если разумѣть ее въ томъ смыслѣ какъ къ этому привыкли для скользящихъ расширителей.

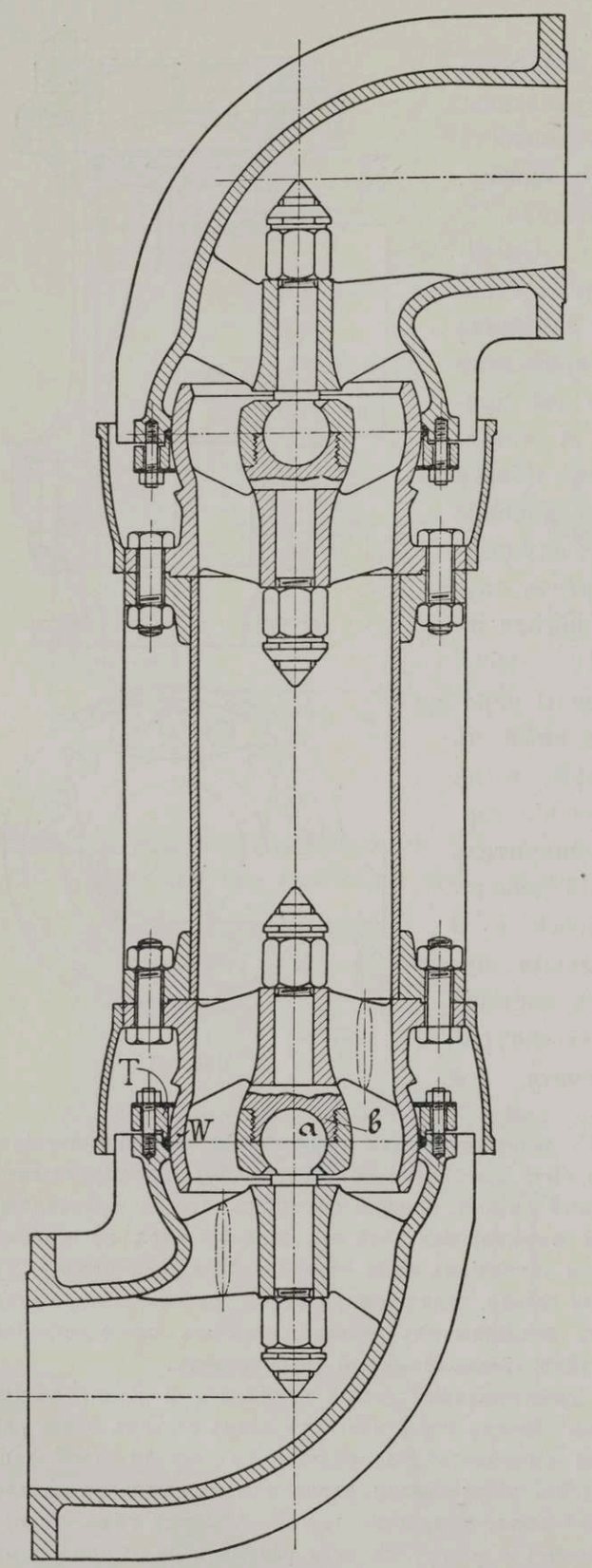
* При расширителяхъ Андритца фирмою обращено вниманіе на то, что̀ я указываю въ книгѣ на стр. 431, именно на движеніе концовъ трубопровода, прилегающихъ къ расширителю, не только вдоль оси трубъ, но и перпендикулярно къ ней, на изгибъ трубъ, такъ какъ расширитель типа чер. 316 не представляетъ кинематически настоящаго механизма, одной нужной кинематической пáры не хватаетъ и трубы должны гнуться вбокъ. При помощи особаго рычажнаго приспособленія, описаніе котораго имѣется въ каталогахъ фирмы, это поперечное движеніе или изгибъ трубъ устраняются, или, вѣрнѣе, сводятся къ такой малой величинѣ, что никакого вреда трубопроводу уже не причиняютъ.

** Для учащихся рекомендую прекрасное упражненіе: начертить отдѣльно глав-

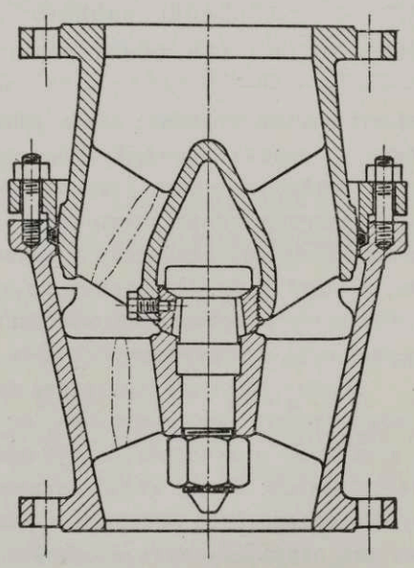
Фирма Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen, которая, какъ уже сказано, въ настоящее время вмѣсто прежнихъ системъ расширителей съ шаровыми шарнирами Бернбурга и Андритца выполняетъ расширители Кёнига, измѣнила нѣсколько первоначальное конструктивное выполненіе, которое показано на чер. 320, и строитъ свои шаровые шарниры не такъ, какъ на чер. 320, а по типу, показанному на чер. 321 (снято съ детальнаго чертежа фирмы).

По опытамъ, произведеннымъ проф. Берловымъ, сопротивленіе такого расширителя движенію крайне незначительно, а изъ испытаній проф. Іоссе можно заключить о долговѣчности расширителя.

Въ самое послѣднее время Кёнигъ упростилъ нѣсколько свою конструкцію поворотныхъ расширителей; именно, въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ отъ расширителя требуется подвижность *лишь въ одной плоскости*, поверхность, дающая герметичность, выполняется попрежнему въ видѣ шаровой, работающей въ кольцѣ изъ азбеста, но устройство, воспринимающее на себя смѣшающія силы, дѣлается здѣсь не въ видѣ шарового шарнира, а просто состоитъ



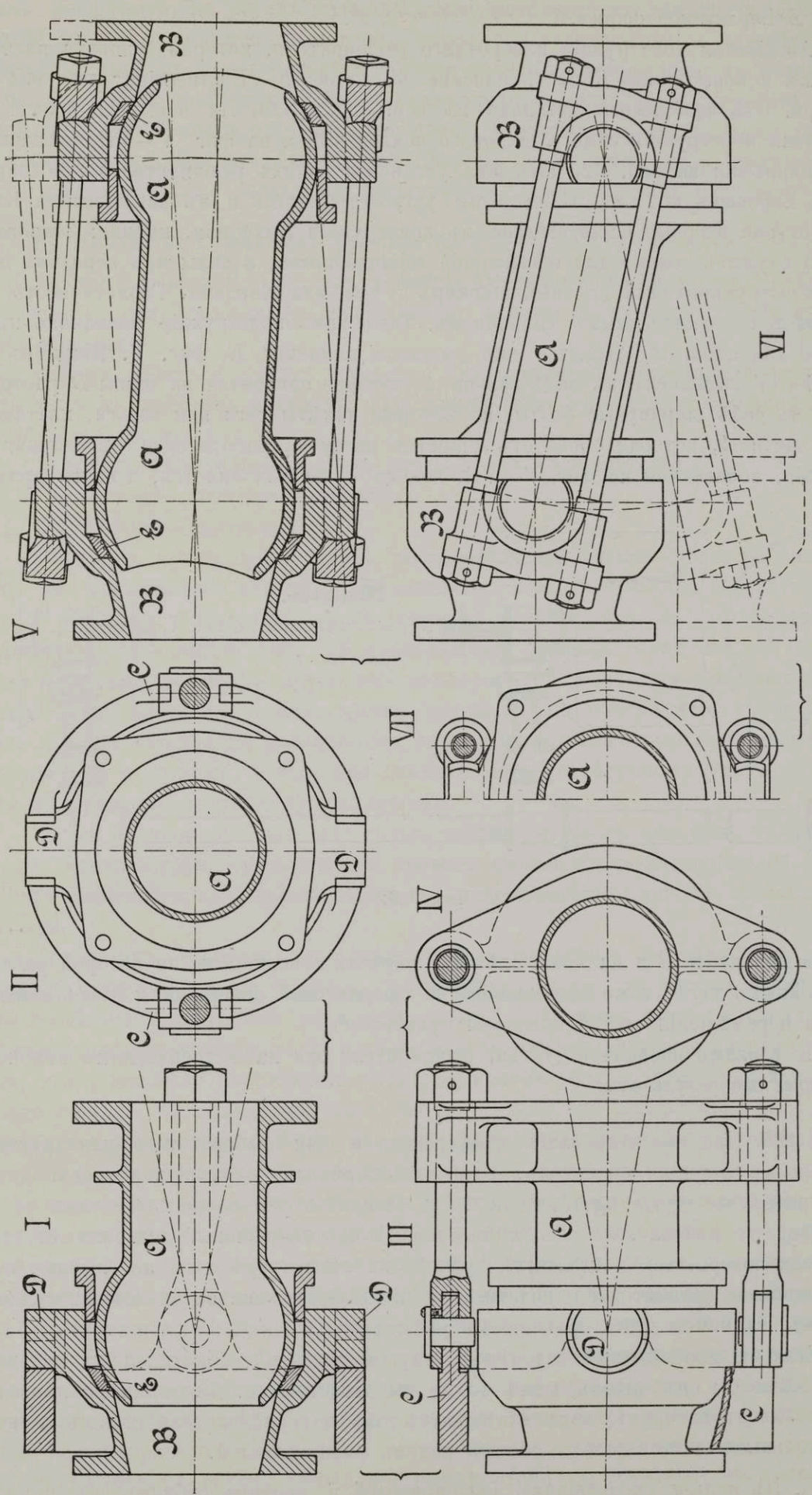
Чер. 320.



Чер. 321.

изъ двухъ параллельныхъ желѣзныхъ тягъ, надѣтыхъ на шипы, сдѣланные на оконечностяхъ трубъ.

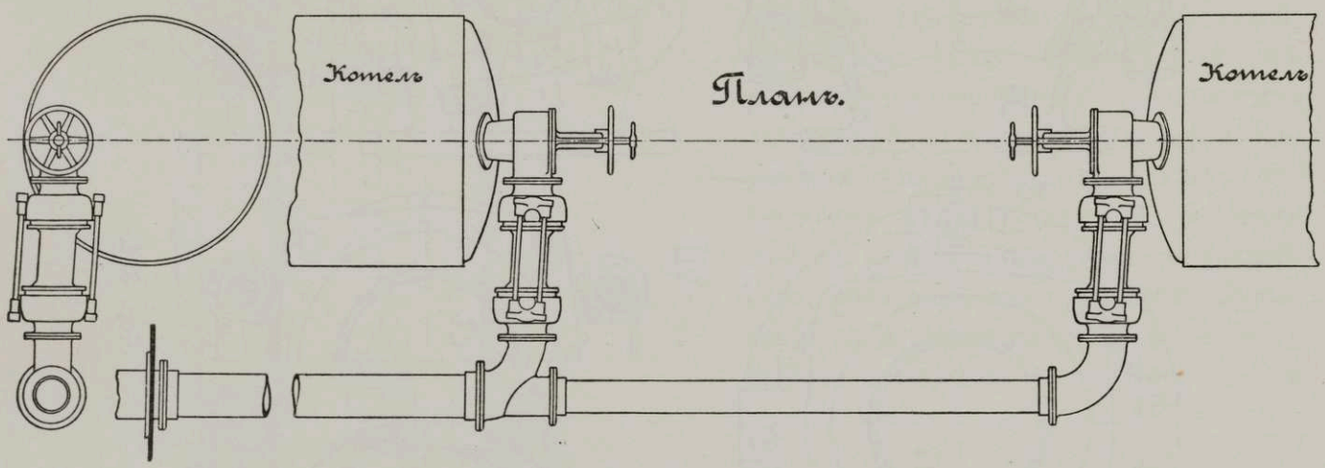
ныя составныя части расширителей Зейфферта и Андритца и выяснить силы, дѣйствующія на каждую часть, и провѣрить затѣмъ себя—получится ли равновѣсіе; слѣдуетъ также разобрать характеръ работы этихъ расширителей во время пуска въ ходъ холоднаго паропровода и во время охлажденія паропровода послѣ закрытія пара.



Чер. 322.

Подробности объ этихъ конструкціяхъ можно найти въ проспектахъ названныхъ Рижской и Берлинской фирмъ.

Англійская конструкція поворотнаго расширителя, которая основана на той же идеѣ, какъ и конструкція Кёнига, описана въ журналѣ „Engineering“ за 1904 годъ, 12 Января. Она изображена детально на чер. 322 и 323. На чер. 322, фиг. I — IV, представлена конструкція самого шарового сочлененія, а на фиг. V—VII показанъ полный расширитель; на чер. 323 показана установка такихъ расширителей при паропроводѣ отъ паровыхъ котловъ. Идея этого устройства, какъ и въ расширителѣ Кёнига, та же, которая впервые осуществлена въ конструкціи Кокериля, именно: шаровая поверхность служитъ только для обезпеченія герметичности, а силы всѣ переданы на спеціально конструированный прочный шарниръ Гука или Кардана. Герметичность шара обезпечивается обыкновеннымъ сальникомъ. Такъ какъ конструкція назначена преимущественно для пара, то дѣлаются еще „водяныя канавки“ *E*, фиг. V. Шарниръ Гука на фиг. I—IV выполненъ въ видѣ кольца *C*, которое опирается на шипы *D* раструба *B* и несетъ въ себѣ шарнирные болты, на которые надѣты тяги или серьги, хватающіяся за ушки части *A*, которая образуетъ шаровое раздутіе, работающее въ сальникѣ. Въ конструкціи, показанной на фиг. V—VII, кольцо *C* не выполняется, а шипы прямо дѣ-



Чер. 323.

лаются на раструбѣ *B* и на нихъ сдѣлана шаровая поверхность, по которой работаютъ концы двойныхъ тягъ, тоже оформленные по сферической поверхности. Возможныя относительныя перемѣщенія частей показаны пунктиромъ.

По словамъ названной статьи, расширители эти на истребителяхъ миноносцевъ дали прекрасные результаты.

§ 125. При проектированіи паропровода и при выборѣ того или другого изъ предложенныхъ фирмами проектовъ, естественно приходится рѣшать вопросъ — „какимъ же расширителямъ отдать предпочтеніе“? и рѣшить этотъ вопросъ не такъ то легко, тѣмъ болѣе, что мнѣнія на этотъ счетъ вполнѣ противорѣчивы. Оставляя въ сторонѣ расширители поворотные, о которыхъ дурного въ литературѣ пока не слышно, и которые, появившись сравнительно недавно, не пользуются еще очень широкимъ распространеніемъ, займемся здѣсь сравненіемъ расширителей с к о л ь з я щ и х ъ и г и б к и х ъ.

Если бы малоопытный человѣкъ, ищущій указаній, обратился къ литературѣ, то чѣмъ болѣе бы онъ читалъ, тѣмъ болѣе бы запутывался. Для примѣра приведу нѣсколько отзывовъ авторовъ, какъ извѣстныхъ такъ и совсѣмъ неизвѣстныхъ, по вопросу о сравнительныхъ достоинствахъ обоихъ родовъ расширителей.

1). Въ *пользу* скользящихъ расширителей и противъ гибкихъ, въ примѣненіи къ пароходнымъ паропроводамъ, говорятъ, напримѣръ, Ситонъ, Мильтонъ, Утеманнъ, указывая на недостаточную гибкость гибкихъ расширителей и на возможность устроить

надежные скользящіе, въ особенности рекомендуя скользящіе при трубахъ большого діаметра. Зейффертъ, въ своемъ каталогѣ, тоже рекомендуетъ для тѣхъ случаевъ, гдѣ требуется поглотить большое расширеніе, скользящіе расширители, а не гибкіе, указывая, что послѣдніе въ этомъ случаѣ требуютъ солиднаго закрѣпленія въ неподвижныхъ точкахъ. Англійскій инженеръ Тайлоръ, являющійся однимъ изъ піонеровъ въ дѣлѣ введенія во флотѣ машинъ тройного расширенія и желѣзныхъ трубъ, тоже рекомендуетъ скользящіе расширители. Въ журналѣ Хедера неизвѣстный авторъ подъ иниціалами „*F. R.*“ называетъ даже скользящіе расширители „расширителями будущаго“.

2). **Противъ** скользящихъ расширителей и въ пользу гибкихъ.

Мистеръ Eckley B. Coxe (въ докладѣ Американскому Обществу Механическихъ Инженеровъ): „они (скользящіе расширители) похожи на многихъ людей на свѣтѣ— они не работаютъ“.

Страмъ, Боотъ и Хурстъ говорятъ, что скользящій расширитель слѣдуетъ примѣнять лишь въ крайнихъ случаяхъ, гдѣ почему либо рѣшительно невозможно примѣнить гибкій расширитель.

Вестфаль рѣшительно противъ скользящихъ расширителей.

Бахъ—тоже рѣшительно противъ.

Стромейеръ—противъ.

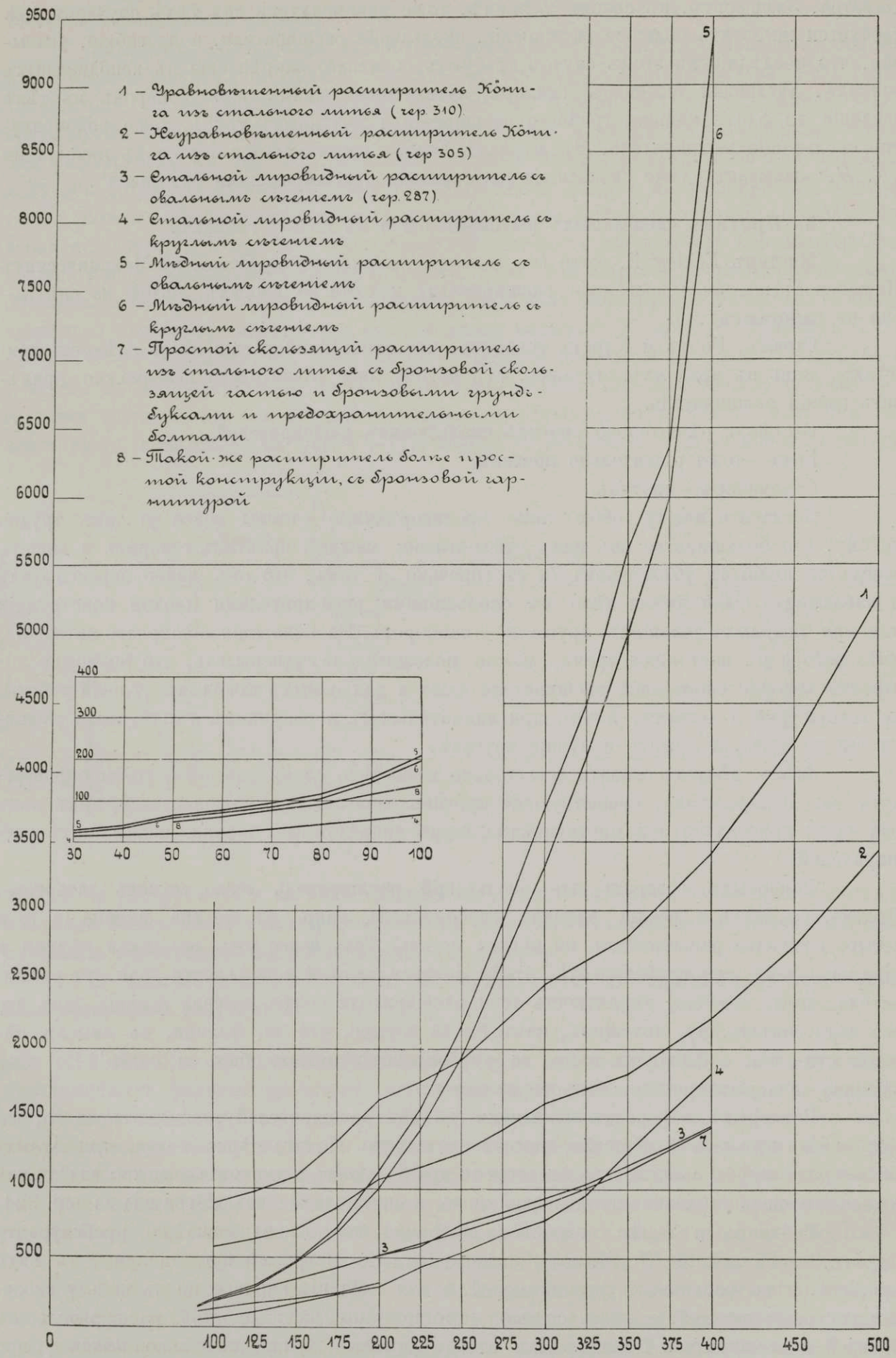
Согласить между собою такіе противорѣчивые отзывы вовсе не такъ трудно потому, что большинство изъ нихъ субъективно; каждый практикъ говоритъ и пишетъ всегда съ полнымъ убѣжденіемъ (и съ горечью) о томъ, что онъ лично переиспыталъ и наблюдалъ. Одни имѣли дѣло съ скользящими расширителями плохой конструкціи или при тяжелыхъ условіяхъ, другіе же—наоборотъ. На основаніи обширнаго матеріала, имѣющагося въ настоящее время, можно положительно утверждать, что возможно построить хорошіе скользящіе расширители даже и для самыхъ тяжелыхъ условій работы, не говоря уже о легкихъ, и что, при внимательномъ и разумномъ уходѣ, такіе расширители не хуже, а можетъ и лучше другихъ.

Здѣсь слѣдуетъ сказать еще только нѣсколько словъ для того, чтобы опровергнуть два предразсудка, существующіе противъ скользящихъ расширителей, такъ какъ они часто приводятся ихъ противниками, какъ непреложные пороки скользящихъ расширителей.

Вопервыхъ, говорятъ, что скользящій расширитель легко можетъ дать течь. Правда, но развѣ и всякій флянецъ трубопровода, напр., тѣ же два флянца (а то и четыре!) гибкаго расширителя, не могутъ потечь? Течь вовсе ужъ не такая рѣдкая и страшная вещь при трубопроводѣ, чтобы бояться лишней возможности течи отъ расширителя, хотя, конечно, вѣроятность течи расширителя болѣе, нежели флянца, такъ что его надо считать, ну, положимъ, какъ бы за четыре, что ли, флянца, въ смыслѣ вѣроятности течи; а флянцевъ всего на трубопроводѣ можетъ быть и сотня! Не такъ страшна течь расширителя, какъ ее малюютъ.

Вовторыхъ, всѣ почти защитники гибкихъ расширителей указываютъ на то, что они „значительно“ дешевле, нежели скользящіе. Но это вѣрно *только при малыхъ діаметрахъ трубъ*, а насколько это **ложно** при большихъ діаметрахъ—можно видѣть изъ нижеслѣдующей таблички, составленной мною, и еще полнѣе—изъ діаграммы на чер. 324.

Табличка и болѣе подробная діаграмма составлены мною по прейскуранту фирмы Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen. На діаграммѣ представлены, въ видѣ кривыхъ, цѣны различныхъ расширителей, а для таблицы, нарочно не въ пользу скользящихъ расширителей, я взялъ **самые дорогіе** типы ихъ: простой расширитель съ бронзой и расширители Кёнига. Изъ этого сравненія ясно, насколько *дешевле*, при большихъ діаметрахъ трубъ, скользящіе расширители по сравненію съ *мѣдными* лирами, о которыхъ именно и пишутъ всѣ защитники гибкихъ трубъ (стальныхъ лиръ тогда еще не было).


1 – Уравновѣшенный расширитель Кёнига изъ стальнаго литья (чер. 310)
2 – Неуравновѣшенный расширитель Кёнига изъ стальнаго литья (чер. 305)
3 – Стальной мировидный расширитель съ овальнымъ сѣченіемъ (чер. 287)
4 – Стальной мировидный расширитель съ круглымъ сѣченіемъ
5 – Мѣдный мировидный расширитель съ овальнымъ сѣченіемъ
6 – Мѣдный мировидный расширитель съ круглымъ сѣченіемъ
7 – Простой скользящій расширитель изъ стальнаго литья съ бронзовой скользящей частью и бронзовыми грундбуксами и предохранительными болтами
8 – Такой же расширитель болѣе простой конструкціи, съ бронзовой гарнитурой
9500
9000
8500
8000
7500
7000
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 450 500
400
300
200
100
30 40 50 60 70 80 90 100

Чер. 324.

На діаграммѣ чер. 324 по горизонтальной оси отложены діаметры трубъ въ миллиметрахъ, а по вертикальной —цѣны расширителей въ Германскихъ маркахъ. Для большей ясности часть діаграммы, относящаяся къ расширителямъ малаго діаметра (отъ 30 до 100mm), вычерчена отдѣльно, въ болѣе крупномъ масштабѣ.

Сравнительная таблица цѣнъ (въ маркахъ) скользящихъ и лировидныхъ расширителей.

Внутренній діаметръ трубы d^{mm} =	50	100	200	400
Простой *скользящій* расширитель самой дорогой конструкціи (корпусъ—стальное литье, грундбукса, крышка сальника и скользящая часть—изъ бронзы)	49	192	522	1452
Скользящій расширитель Кёнига, неуравновѣшенный.	—	580	1070	2230
Скользящій расширитель Кёнига, уравновѣшенный .	—	890	1640	3420
Лировидный гибкій расширитель:				
стальной	18	68	295	1463
красной мѣди	56	195	1012	8625
(сѣченіе лиры—круглое)				

Вообще же, каждый типъ расширителя имѣетъ свои достоинства и свои недостатки и рѣшить вопросъ—„какому расширителю отдать предпочтеніе въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ“—возможно лишь принявши во вниманіе *всѣ* обстоятельства дѣла и мѣстныя условія.

Весьма интересная статья относительно расположенія паропроводовъ и расширителей на одномъ изъ Бельгійскихъ пароходовъ, въ которой содержатся и теоретическія изслѣдованія относительно изгиба трубъ отъ нагрѣванія (хотя и не отличающіяся, по моему, особенною ясностію), находится въ „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“, 1906 г. №№ 37, 38 и 50.

*

Поломки расширителей.

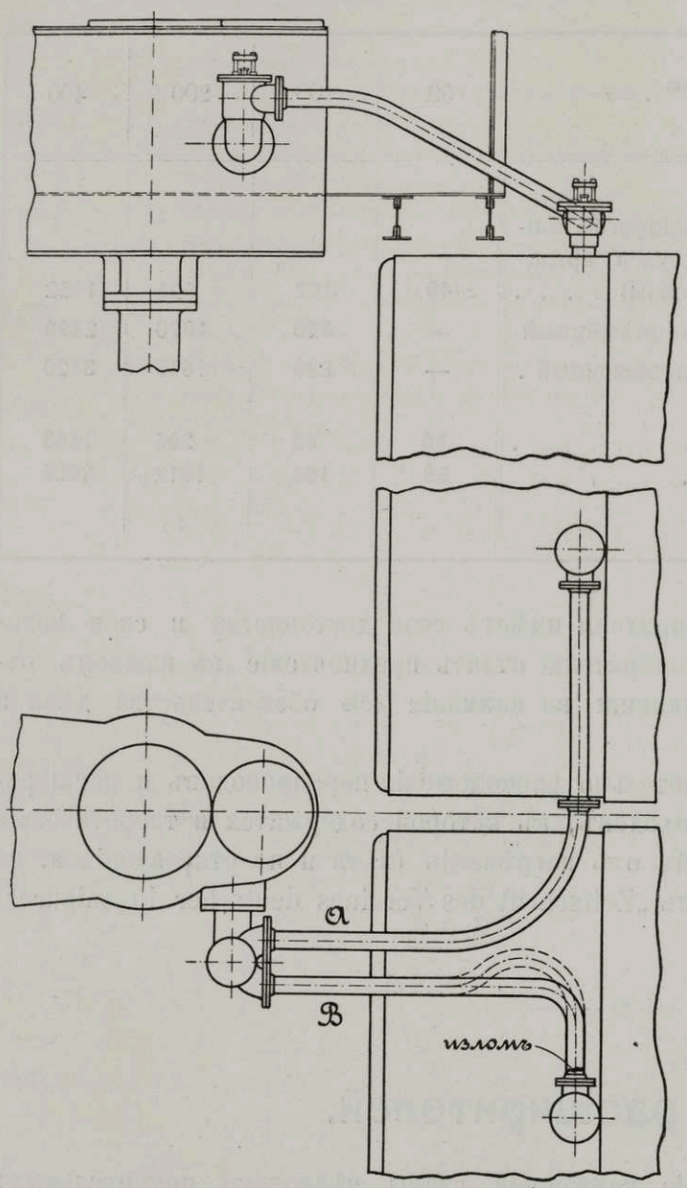
§ 126. Приведемъ въ заключеніе настоящей главы нѣсколько поучительныхъ примѣровъ поломокъ расширителей.

Примѣръ 1-й.

Паропроводъ діаметромъ въ 9 дюймовъ и длиною въ 63 фута, сдѣланный изъ желѣзныхъ трубъ, имѣлъ три скользящихъ расширителя. Для устраненія возможности вырыванія скользящаго конца трубы изъ сальника расширителя никакихъ предохранительныхъ болтовъ устроено не было, а была сдѣлана задержка на внутреннемъ концѣ трубы, только задержка эта была выполнена не въ формѣ кольца, какъ это обыкновенно дѣлаютъ (см. чер. 308), а состояла всего изъ *трехъ шуруповъ*, діаметромъ каждый въ $^5/_{16}$ дюйма, размѣщенныхъ въ равныхъ разстояніяхъ по окружности трубы. Инженеръ заказавшей паропроводъ желѣзной дороги потребовалъ отъ завода, при разсмотрѣніи проекта, увеличенія толщины стѣнокъ сальника и замѣны шуруповъ болѣе надежнымъ устройствомъ. Заводъ согласился увеличить толщину стѣнокъ съ $^5/_8$ до $^7/_8$ дюйма (матеріалъ—стальное литье), но отказался измѣнить шурупы, гордо заявивъ,

что это „наша нормальная конструкція, которая доставлена уже многимъ заказчикамъ и работаетъ хорошо“! Инженеръ имѣлъ слабость уступить и шурупы были выполнены. Давленіе пара въ трубѣ—120 фунтовъ. При первой же пробѣ паропровода скользящая часть вылѣзла изъ сальника на два дюйма. Ее воротили на мѣсто и закрѣпили при помощи тяги одну половину трубопровода, но, къ удивленію, забыли сдѣлать тоже по отношенію къ другой половинѣ его! Послѣ пуска въ ходъ на слѣдующій день машинъ не успѣли онѣ проработать и часу, какъ скользящую часть вдругъ вырвало изъ сальника совсѣмъ и кусокъ трубопровода около 18 футъ длиною отлетѣлъ на другой конецъ котельной. При осмотрѣ оказалось, что три задерживающихъ шурупа *срѣзаны начисто*, чего, конечно, и слѣдовало ожидать. Къ счастію, никто не былъ раненъ.

Случай произошелъ въ Англіи (отчетъ за 1902 годъ).



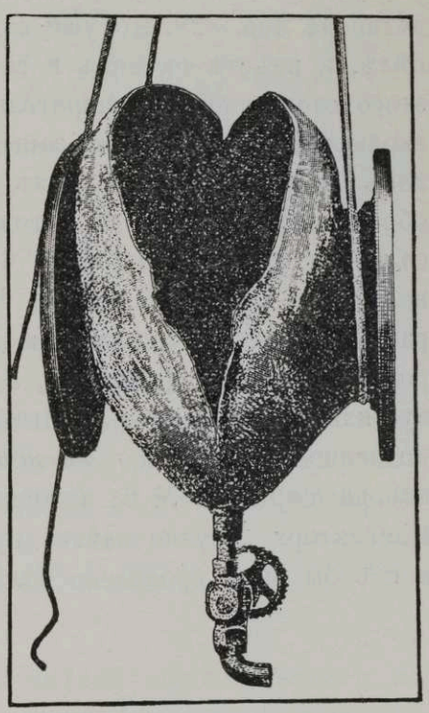
Чер. 325.

Примѣръ 2-й.

На пароходѣ имѣлось два котла и трубы *A* и *B*, ведущія отъ нихъ въ машину, были устроены такъ, какъ показано на чер. 325; расширителей не имѣлось, ихъ замѣняли изгибы самихъ трубъ, и изъ чертежа видно, что длина трубъ и величина колѣнъ настолько малы, что трубы практически не имѣютъ никакой свободы расширенія. Это и оказалось на дѣлѣ, такъ какъ за полтора года плаванія этого вновь выстроеннаго парохода труба *B* ломалась уже три раза, дала уже три трещины, но на это не обратили вниманія и лишь послѣ появленія третьей трещины эту трубу измѣнили такъ, какъ показано на чертежѣ пунктиромъ, но это не помогло и вскорѣ трубу взорвало въ четвертый разъ, причемъ она совсѣмъ разорвалась возлѣ флянца и вырвавшимися паромъ и водою сварило на смерть трехъ человѣкъ. Изъ опытовъ, произведенныхъ во время разслѣдованія причинъ взрыва, оказалось, что въ данномъ случаѣ, при нагрѣваніи котловъ и машинъ до температуры, которую они имѣютъ во время работы, мѣста прикрѣпленія трубы къ котлу и къ машинѣ расходятся другъ отъ друга приблизительно на полъ-дюйма, какъ по вертикальному, такъ и по горизонтальному направленію, и естественно, что не имѣвшая почти никакой гибкости короткая труба слѣдовать за этими перемѣщеніями свободно не могла и разорвалась (Англія, 1902 годъ).

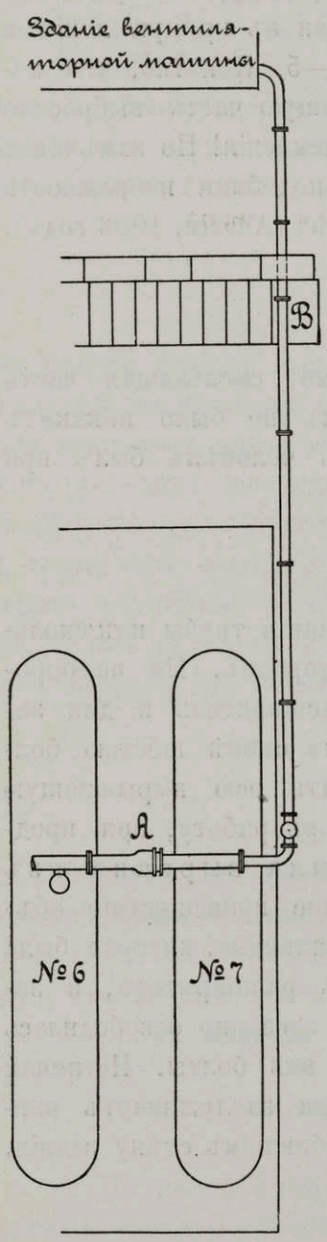
Примѣръ 3-й.

Тарельчатый расширитель изъ красной мѣди былъ взорванъ такъ, какъ показано на чер. 326. Расширитель былъ спаянъ изъ двухъ тарелокъ, толщина стѣнки—№ 8 B. W. G. (0,165 дюйма), діаметръ трубопровода—8 дюймовъ, діаметръ флянцевъ расширителя—14 дюймовъ, діаметръ тарелокъ въ наиболѣе широкой (взорванной) части—$19^1/_2$ дюймовъ. Расширитель былъ опробованъ давленіемъ въ 160 фунтовъ (но исключительно на герметичность, а не на прочность) и работалъ при давленіи въ 100 фунтовъ на □ дюймъ. Послѣ 11 мѣсяцевъ работы расширитель взорвало.

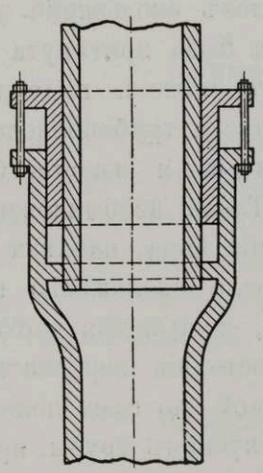


Чер. 326.

Причина взрыва не мудреная. Такъ какъ обѣ вѣтви паропровода, съ которыми былъ соединенъ расширитель, не были ничѣмъ закрѣплены, не имѣли по концамъ „неподвижныхъ точекъ", то вся продольная разрывающая сила, равная, какъ мы знаемъ, *давленію на наибольшую свободную площадь въ трубопроводѣ* (въ нашемъ случаѣ на площадь круга съ діаметромъ около 19 дюймовъ) воспринималась только сопротивленіемъ тарелки разрыву и надо удивляться, что она продержалась цѣлыхъ 11 мѣсяцевъ.



Чер. 327.



Чер. 328.

Расширитель разорванъ на длинѣ около $2^1/_2$ футъ по паяному шву и концы разошлись на семь съ лишнимъ дюймовъ. Поразительно то, что передъ взрывомъ было замѣчено, что расширитель вытянулся въ длину уже на три дюйма, но это не привлекло вниманія механика фабрики! Послѣ взрыва былъ осмотрѣнъ другой такой же расширитель во второмъ паропроводѣ, и онъ оказался тоже вытянутымъ уже на $2^1/_2$ дюйма.

Вырвавшіеся при взрывѣ паръ и вода сварили на смерть кочегара (Англія, 1903 годъ).

Примѣръ 4-й.

На одномъ изъ Англійскихъ рудниковъ паръ доставлялся въ насосы и къ вентиляторной машинѣ изъ серіи въ 7 цилиндрическихъ котловъ. На каждомъ котлѣ былъ патрубокъ въ 7 дюймовъ діаметромъ и на немъ 7-дюймовый же паропускной вентиль; всѣ эти вѣтви входятъ въ главную сборную трубу, имѣющую 9 дюймовъ въ діаметрѣ и идущую надъ всѣми котлами. Въ эту трубу вставлено шесть скользящихъ расширителей. Отъ послѣдняго котла № 7 (чер. 327) идетъ длинная чугунная труба (длина 60 футъ, діаметръ—$6^1/_2$ дюймовъ) къ вентиляторной машинѣ. Однажды произошло не-

счастіе, состоящее въ томъ, что скользящая часть была выброшена вонъ изъ расширителя между котлами № 6 и № 7, при *A*, а вслѣдствіе этого сломался и флянецъ трубопровода при *B*. Причина поломки слѣдующая. Сперва работали всѣ семь котловъ, и такъ какъ вентиль надъ каждымъ котломъ давалъ опору скользящей части предыдущаго расширителя, то расширители были выполнены безъ всякихъ задерживающихъ болтовъ или колецъ, препятствующихъ вырыванію скользящей части, т. е. такъ, какъ видно на чер. 328. Но уже задолго до несчастія фундаментъ подъ котломъ № 6 сильно сѣлъ, а вмѣстѣ съ нимъ и самъ котелъ и часть трубопровода надъ нимъ, и вслѣдствіе этого скользящій расширитель надъ этимъ котломъ пересталъ работать, такъ какъ скользящая часть трубы защемилась въ сальникѣ. Послѣ этого котелъ № 7 былъ удаленъ за ненадобностью, такъ какъ оказалось достаточнымъ и шести котловъ. Такимъ образомъ, и вентиль № 7 тоже былъ удаленъ, но вырыванія скользящей части изъ сальника въ расширителѣ № 6 все таки не происходило, такъ какъ она была ущемлена вслѣдствіе сказанной осадки. Черезъ семь мѣсяцевъ послѣ этого установку остановили, разъединили трубу, ведущую отъ котла № 6 къ главному трубопроводу, и закрыли отростокъ глухимъ флянцемъ, а трубопроводъ выправили домкратами въ прямую линію и пустили затѣмъ паръ, работая только на пяти котлахъ, №№ 1—5. Понятно, что немедленно послѣ этого *не задержанную теперь ничѣмъ* скользящую часть выбросило изъ расширителя № 6, который пересталъ быть въ состояніи ущемленія! По замѣчанію Инспектора „трудно найти другой случай, гдѣ бы наблюдалась подобная небрежность и гдѣ бы было проявлено болѣе глупости въ техническомъ смыслѣ“ (Англія, 1903 годъ).

Примѣръ 5-й.

На линіи паропровода, идущаго надъ четырьмя котлами, скользящая часть была вырвана изъ сальника скользящаго расширителя, такъ какъ не было никакихъ устройствъ для того, чтобы предупредить это вырываніе. Одинъ человѣкъ былъ при этомъ убитъ (Англія, 1903 годъ).

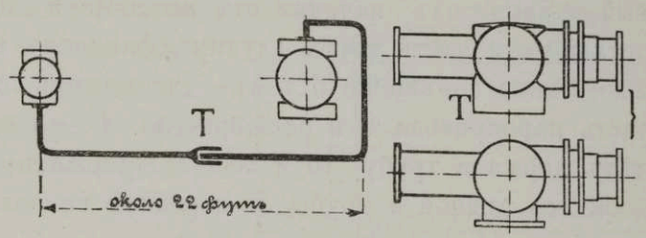
Примѣръ 6-й.

Въ 1905 году произошелъ необыкновенный случай вырыванія трубы изъ скользящаго расширителя въ Америкѣ, на центральной станціи г. Патерсонъ. На паропроводѣ въ 12 дюймовъ діаметромъ былъ поставленъ скользящій расширитель и для задержанія скользящей части отъ вырыванія она была притянута къ стѣнѣ шестью болтами, настолько солидными, что **одинъ** болтъ можетъ выдержать всю вырывающую силу. И тѣмъ не менѣе, въ первый же день пуска трубопровода въ работу, при предварительномъ прогрѣвѣ паропровода, скользящая часть была вырвана изъ сальника, причемъ **всѣ** *болты лопнули!* Такое необыкновенное происшествіе объясняютъ тѣмъ, что сперва, при маломъ давленіи пара, набивка сальника, которая была затянута слишкомъ туго, заѣла и препятствовала скольженію въ расширителѣ, а затѣмъ, при повышеніи давленія и температуры, скользящая часть внезапно освободилась съ такимъ толчкомъ, который оказался въ состояніи перервать всѣ болты. Истинная причина поломки осталась не вполнѣ выясненной, но сама поломка заслуживаетъ вниманія. Одинъ человѣкъ былъ убитъ на дворѣ кускомъ трубы, пробившимъ стѣну зданія.

Примѣръ 7-й.

Фабрика приводилась въ движеніе двумя паровыми машинами тандемъ. Въ 1903 году были поставлены новые котлы на давленіе въ 200 фунтовъ и машины было рѣшено передѣлать, превративъ ихъ въ одну машину тройного расширенія; для этой цѣли были сняты съ мѣста оба старые цилиндра высокаго давленія и вмѣсто нихъ поставлены новые: цилиндръ высокаго и цилиндръ средняго давленія для полученія ма-

шины тройного расширенія (цилиндры низкаго давленія остались, образуя теперь раздвоенный цилиндръ низкаго давленія новой машины); въ ресиверъ, соединяющій теперь эти два новые цилиндра, былъ превращенъ оставшійся на мѣстѣ прежній паропроводъ, ведшій ранѣе паръ въ оба цилиндра и выполненный изъ чугунныхъ трубъ; при этомъ на срединѣ его былъ сохраненъ старый чугунный тройникъ *T*, чер. 329, служившій ранѣе для раздѣленія свѣжаго пара между двумя цилиндрами высокаго давленія *. На этомъ тройникѣ имѣлся скользящій расширитель, который тоже былъ сохраненъ. Длина всего ресивера по горизонтальному направленію—около 22 футъ, а высота отъ него до верхней части вертикальнаго колѣна цилиндра средняго давленія — около 9 футъ. Но въ то время, какъ при старомъ устройствѣ оба конца этого паропровода были основательно закрѣплены посредствомъ чугунныхъ плитъ, соединявшихъ ихъ съ рамами машинъ, при передѣлкѣ, фирма, выполнявшая ее, оставила, по непростительной небрежности или глупости, обѣ вѣтви трубопровода, образующаго ресиверъ, *совершенно свободными*, въ результатѣ чего скользящую часть вырвало изъ сальника. Предохранительныхъ же болтовъ на расширителѣ не было (Англія, 1906 годъ).



Чер. 329.

Примѣръ 8-й.

На станціи для уничтоженія отбросовъ въ Плимутѣ имѣлся паровой котелъ и для работы станціи было вполнѣ достаточно давленія пара въ 30 фунтовъ. Но предохранительные клапаны котла почему то были нагружены настолько сильно, что начинали выпускать паръ только при давленіи въ 130 фунтовъ. Пользуясь этимъ, машинистъ въ одинъ прекрасный день пустилъ въ паропроводъ паръ съ давленіемъ въ 75 фунтовъ „для того, чтобы *хорошенько* испытать прочность трубъ“. Но, къ сожалѣнію онъ достигъ совсѣмъ противоположнаго, такъ какъ на паропроводѣ имѣлся скользящій расширитель безъ всякихъ средствъ для устраненія вырыванія, и, при такомъ высокомъ давленіи по сравненію съ обычнымъ рабочимъ, скользящая часть была вырвана изъ сальника расширителя (Англія, 1906 годъ).

Примѣръ 9-й.

При неосторожной работѣ по устраненію течи въ трубопроводѣ отъ нѣсколькихъ котловъ, на которомъ имѣлся скользящій расширитель, не снабженный ни предохранительными болтами, ни иными какими либо средствами для предотвращенія вырыванія, и который во время работы находился подъ паромъ съ давленіемъ около 60 фунтовъ, скользящая часть расширителя была вырвана вонъ изъ сальника и вырвавшимся паромъ сварило на смерть монтера и тяжело обожгло его помощника (Англія, 1906 годъ).

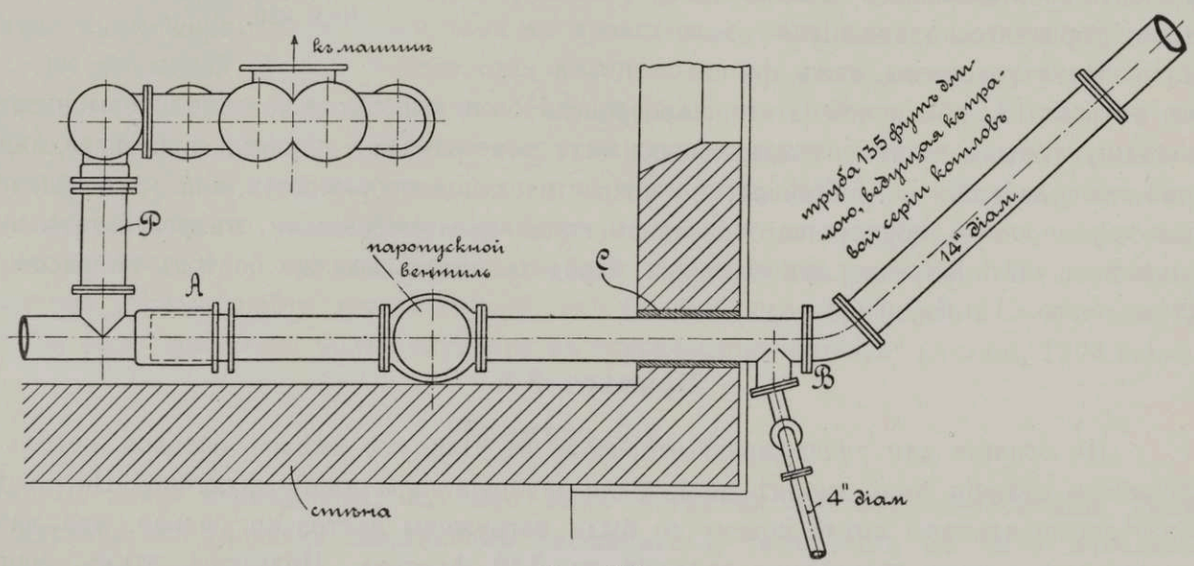
Примѣръ 10-й.

На паровой станціи желѣзодѣлательнаго завода Dowlais Ironworks имѣлись двѣ паровыя машины, расположенныя по срединѣ зданія; паръ подводился къ машинамъ изъ двухъ серій котловъ; одна серія расположена съ лѣвой стороны зданія, а другая—съ правой, и отъ машиннаго зданія къ котельнымъ идутъ паропроводы; часть праваго паропровода показана на чер. 330; діаметръ трубъ—14 дюймовъ. Трубопроводъ вхо-

* показанъ болѣе детально на чертежѣ справа.

дить въ машинное зданіе сквозь стѣну, и между стѣной и отросткомъ P, идущимъ изъ главной трубы къ машинѣ, имѣется скользящій расширитель A. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ труба проходитъ сквозь стѣну, она окружена чугунной коробкой C, призматической формы, съ квадратнымъ основаніемъ, которая, при помощи трехъ клиньевъ, расклинена въ квадратномъ же отверстіи, сдѣланномъ въ стѣнѣ.

Въ 1907 году, по причинѣ нѣкоторыхъ передѣлокъ, потребовалось снять правый паропроводъ, начиная отъ котловъ и до флянца B, гдѣ рѣшено было закрыть оставшуюся часть трубы глухимъ флянцемъ и инженеры (?) завода собрались на торжественное совѣщаніе о томъ—„не можетъ ли послѣ такого снятія вырвать оставшуюся часть паропровода изъ расширителя A?—и рѣшили, что если коробка цѣлыхъ сорокъ лѣтъ держала трубу, то и теперь удержитъ, если только „скрѣпленія“ клиньями коробки со стѣной и трубы съ коробкой не ослабли. Осмотрѣли эти скрѣпленія, и нашли,



Чер. 330.

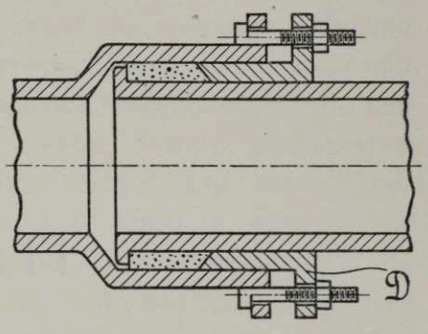
что они не ослабли; паропроводъ разобрали, и вскорѣ же послѣ этого всю трубу съ длиною AB вырвало вонъ изъ расширителя A, а чугунная задерживающая коробка, вмѣстѣ съ клиньями, вылѣзла вонъ изъ стѣны, такъ какъ труба отодвинулась вправо на 18 дюймовъ. Кстати сказать, поверхности коробки, которыми она прилегала къ стѣнѣ, были найдены *совершенно гладкими* и не заржавленными, а Гг. инженеры расчитывали именно на большое треніе ихъ о стѣну и даже вычисляли (?) это треніе, а о томъ, что сорокъ лѣтъ труба была уперта въ дальнѣйшія трубы, идущія къ котламъ, а нынѣ снятыя,—они забыли! (Англія, 1908 годъ).

Примѣръ 11-й.

Этотъ послѣдній примѣръ взрыва случился около 70 лѣтъ тому назадъ, но назидательность его отъ этого нисколько не уменьшилась, такъ какъ то же самое, что̀ произошло здѣсь, повторяется нерѣдко и въ настоящее время.

Въ 1844 году нѣкто мистеръ Самуда открылъ въ Блэкуоллѣ, въ Англіи, новый судостроительный заводъ и имѣлъ удовольствіе уже 12 Ноября того же года пробовать на Темзѣ только что отстроенное на его заводѣ паровое судно „The Gipsy Queen“. Машины работали превосходно и проба была уже кончена и судно ошвартовано у пристани, когда мистеръ Самуда пожелалъ посмотрѣть, „*что̀ будетъ*“, если давленіе въ котлахъ вмѣсто тѣхъ 10 фунтовъ на □ дюймъ, при которыхъ производилась проба, поднять до 25 фунтовъ на □ дюймъ? Подняли—и въ результатѣ было то, что одинъ скользящій расширитель взорвало, т. е. вырвало скользящую часть трубы изъ сальника, и вырвавшимся паромъ сварило на смерть самого мистера Самуду и еще девять человѣкъ, бывшихъ вмѣстѣ съ нимъ!

Причина взрыва слѣдующая. Для предупрежденія вырыванія скользящей части расширитель былъ спроектированъ правильно, съ литымъ буртикомъ на концѣ скользящей части, чер. 331, (конечно, по тому времени, трубы всѣ были чугунныя), но, къ сожалѣнію, чертежникъ „не подумалъ“ о томъ, какъ будутъ собирать его сальникъ, и начертилъ грундбуксу *D* сальника *цѣльною*, а не разрѣзанною на двѣ половинки, какъ то необходимо для возможности сборки. Когда монтеръ въ мастерской сталъ собирать трубопроводъ, то онъ увидѣлъ, конечно, что грундбуксу надѣть на скользящую часть нельзя, и, вмѣсто того, чтобы доложить объ этомъ кому слѣдуетъ, попросту срубилъ зубиломъ весь буртикъ къ чорту, чтобы не мѣшалъ, и затѣмъ собралъ трубы. Въ результатѣ расширитель, который держался благополучно пока давленіе было не выше 10 фунтовъ, уступилъ при давленіи подымаемомъ до 25 фунтовъ и сварилъ на смерть 10 человѣкъ.



Чер. 331.

Хочется сказать—„хороши были чертежники и монтеры 70 лѣтъ тому назадъ“!, но едва ли такая иронія будетъ справедливой, такъ какъ изъ всѣхъ приведенныхъ въ нашей книгѣ примѣровъ видно, что совершенно подобныя же глупости повторяются и теперь, черезъ 60 лѣтъ послѣ описаннаго происшествія.

ГЛАВА XVIII.

Паропроводы.

§ 127. Въ предыдущихъ главахъ говорилось уже многое, относящееся къ устройству паропроводовъ. Въ настоящей главѣ мы изложимъ вкратцѣ и систематически тѣ основныя соображенія, которыми приходится руководствоваться при построеніи современныхъ паропроводовъ высокаго давленія.

Важнѣйшія соображенія, которыя приходится принимать во вниманіе при построеніи паропроводовъ, можно раздѣлить на два класса, именно, на соображенія теплового, такъ сказать, характера, и на соображенія *конструктивнаго* характера.

Соображенія **перваго** рода суть слѣдующія:

1). Паропроводъ долженъ доставлять **достаточное количество пара.**
2). **Паденіе давленія** въ паропроводѣ не должно превосходить извѣстнаго предѣла.
3). Потеря извѣстнаго количества теплоты пара, вслѣдствіе передачи теплоты стѣнками трубы наружу, должна быть по возможности мала. При насыщенномъ парѣ потеря эта обнаруживается въ превращеніи нѣкотораго количества насыщеннаго пара въ воду, при сильно же перегрѣтомъ парѣ потеря эта выражается пониженіемъ температуры перегрѣтаго пара безъ превращенія его въ воду.

Соображенія *второго* рода таковы:

1). Для паропровода необходимо выбрать надлежащій *матеріалъ*.
2). Паропроводу должна быть надежно обезпечена достаточная *свобода расширенія*.
3). Форма и расположеніе трубъ и принадлежностей должны быть таковы, чтобы не могло появиться *вибрацій трубъ* и чтобы въ паропроводѣ *не могла застаиваться конденсаціонная вода*, могущая быть причиною водяныхъ ударовъ во время пуска паропровода въ работу.

Кромѣ того, общее расположеніе всей, иногда весьма сложной, сѣти трубъ должно быть таково, чтобы безъ затрудненій возможно было брать паръ изъ различныхъ мѣстъ его образованія и пускать его въ различныя мѣста его потребленія при разнообразныхъ комбинаціяхъ первыхъ мѣстъ со вторыми, причемъ эти комбинаціи обусловливаются, конечно, ходомъ работы паровой станціи.

Займемся нѣсколько подробнѣе разсмотрѣніемъ каждаго изъ перечисленныхъ соображеній, останавливаясь болѣе на соображеніяхъ конструктивныхъ, такъ какъ соображенія о теченіи по трубамъ жидкостей, въ томъ числѣ и пара, въ настоящую книгу не входятъ; они излагаются въ курсахъ водяной и тепловой техники.

Паропроводъ долженъ доставлять достаточное количество пара. Количество жидкости, протекающее по трубѣ, зависитъ отъ ея діаметра и отъ разности давленій по концамъ трубы. Такимъ образомъ, собственно говоря, данное количество пара можетъ быть доставлено по трубѣ произвольно малаго діаметра; только разность давленій при входѣ пара въ трубу и при выходѣ изъ нея, или, все равно, потеря напора въ трубѣ, выйдетъ при узкой трубѣ слишкомъ велика. Поэтому, соображеніе первое приходится разсматривать въ связи со вторымъ и даже съ третьимъ. Именно, необходимо, чтобы паропроводъ доставилъ потребное количество пара *при небольшой, практически признаваемой наивыгоднѣйшею, разности давленій*. Такимъ образомъ, приходится считаться съ тѣмъ, что при уменьшеніи діаметра трубы будетъ уменьшаться стоймость паропровода, вѣсъ его, потребуются болѣе легкія опоры для него, болѣе легкія подъемныя средства и, вообще, будутъ играть роль всѣ обычныя выгоды, связанныя съ уменьшеніемъ вѣса сооруженія. Съ другой стороны, съ уменьшеніемъ діаметра будетъ возрастать паденіе давленія въ паропроводѣ, слѣдовательно, для того, чтобы получить на мѣстѣ потребленія паръ даннаго давленія, въ котлахъ придется держать паръ значительно большаго давленія. На образованіе такого пара потребуется большее количество теплоты, и сами котлы и стѣнки трубопровода должны быть сдѣланы болѣе толстыми для сопротивленія большему давленію, и лишь постепенно стѣнки такого трубопровода могутъ утоняться по мѣрѣ паденія давленія. Охлажденіе трубъ тоже будетъ усиливаться съ повышеніемъ давленія насыщеннаго пара.

Рѣшить теоретически задачу—„найти такой діаметръ трубы (или, все равно, такое паденіе давленія) при которомъ полная стоймость устройства и работы паропровода вышла бы наименьшей“—невозможно, ввиду сложности и полной неизвѣстности аналитической зависимости между различными величинами, входящими въ задачу. Въ практикѣ же предпочитаютъ держаться скорѣе малыхъ паденій давленія и строятъ трубы довольно значительнаго діаметра. Величина допускаемаго паденія давленія настолько различна у разныхъ авторовъ въ ихъ книгахъ, да и въ практикѣ, что дать здѣсь одну голую цифру положительно невозможно. Примѣромъ того, какъ удачно возможно иногда расположить дѣло, можетъ служить паропроводъ въ рудникахъ *Eckley*, въ Америкѣ, гдѣ при длинѣ паропровода въ *4600* футъ паденіе давленія на всей его длинѣ составляетъ всего отъ 0,14 до 0,2 атмосферы! *

Наиболѣе обычно даютъ въ практикѣ допускаемыя числа для *скорости* теченія пара по паропроводу. Эти цифры тоже мѣняются но ихъ привести возможно. Для насыщеннаго пара даютъ скорость теченія пара отъ 16 до 30 метровъ въ секунду, а для сильно перегрѣтаго рекомендуютъ брать болѣе, такъ отъ 30 до 60 метровъ въ секунду **. Но эти числа опять не являются особенно опредѣленными, такъ какъ одни авторы даютъ эти числа, опредѣляя расходъ пара по *объему*, а другіе предполагаютъ расходъ пара по *вѣсу*.

Старый, болѣе простой, но, въ то же время, и менѣе точный способъ опредѣленія расхода пара, есть опредѣленіе этого расхода по объему пара, подобно тому, какъ это дѣлается при расчетѣ каналовъ парового цилиндра. Подобный расчетъ примѣнимъ въ томъ случаѣ, если требуется расчитать вѣтвь паропровода, идущую къ

---

* Подробности см. „Transactions of The American Society of Mechanical Engineers“, vol. XV, 1894, стр. 547. Труба изолирована минеральною шерстью; однимъ изъ существенныхъ обстоятельствъ, благодаря которому достигнуты указанные выше необыкновенно благопріятные результаты, конструкторъ считаетъ устройство передъ паровымъ цилиндромъ *резервуара* или ресивера большого объема, благодаря которому теченіе пара по трубѣ является не періодическимъ, повторяющимся при каждой новой отсѣчкѣ бросаніемъ пара впередъ, а болѣе походитъ на установившееся теченіе. Объ этомъ см. далѣе.

** На недавно устроенной электрической станціи Das Märkische Elektrizitätswerk, близъ Эберсвальде, наибольшая скорость пара въ трубахъ допущена до *80 метровъ* въ секунду (давленіе пара—отъ 13 до 15 атмосферъ, перегрѣвъ—до 300—350° Цельзія).

одной опредѣленной поршневой паровой машинѣ. Если назовемъ соотвѣтственно черезъ F_c, F_k, F_t, площади поперечныхъ сѣченій парового цилиндра (въ случаѣ машины многократнаго расширенія понимается цилиндръ высокаго давленія), паровпускного канала и пароприводной трубы, черезъ v_c, v_k и v_t — среднія скорости пара въ паровомъ цилиндрѣ, каналѣ и трубѣ, то, *въ предположеніи постоянной плотности пара во всѣхъ этихъ мѣстахъ*, имѣемъ, по закону неразрывности теченія жидкости, извѣстное соотношеніе

$$F_c v_c = F_k v_k = F_t v_t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (142),$$

откуда и опредѣляемъ F_k и F_t, зная F_c и задаваясь величинами v_k и v_t.

Такой расчетъ по объему является слишкомъ неточнымъ и примѣнимъ, кромѣ того, только къ тѣмъ частямъ паропровода, которыя ведутъ паръ къ одной какой нибудь опредѣленной паровой машинѣ. Болѣе правильнымъ является расчетъ паропровода по вѣсу пара; при такомъ расчетѣ долженъ быть опредѣленъ вѣсъ пара, который за единицу времени необходимо пропустить сквозь данную часть паропровода, и затѣмъ, изъ уравненія теченія пара по трубѣ, опредѣленъ діаметръ трубы при данной скорости теченія пара или при данномъ паденіи давленія на длинѣ этой части трубы.

Къ сожалѣнію, и для рѣшенія задачи по такому способу мы имѣемъ пока слишкомъ мало опытныхъ данныхъ, и, вмѣсто строгаго расчета по формуламъ термодинамики, принуждены довольствоваться тоже не особенно точнымъ практическимъ расчетомъ; въ технической литературѣ имѣется довольно много формулъ для подобнаго расчета, но всѣ онѣ различаются между собою лишь тѣмъ, что въ нихъ приняты различныя величины коэффиціентовъ тренія пара въ трубѣ и допускаемой величины паденія давленія. Строго же научно вопросъ этотъ пока мало разработанъ.

Въ основу расчета и здѣсь кладется уравненіе расхода пара

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \cdot \gamma \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (143),$$

причемъ скорость v связывается съ потерею давленія h уравненіемъ

$$h = \xi \gamma \frac{v^2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (144).$$

Въ этихъ формулахъ обозначаютъ

Q — секундный вѣсовой расходъ пара, т. е. вѣсъ пара, протекающаго черезъ трубу въ одну секунду,

d — внутренній діаметръ трубы,

v — скорость пара въ трубѣ,

γ — плотность пара, т. е. вѣсъ одного кубической единицы пара (который берется приближенно, такъ какъ давленіе въ трубѣ, строго говоря, перемѣнное; плотность берутъ и при давленіи впуска и при давленіи выпуска изъ трубы, что̀ не вноситъ значительной ошибки, такъ какъ паденіе давленія въ паропроводѣ всегда бываетъ незначительнымъ по сравненію съ давленіемъ пара въ котлахъ).

h — паденіе напора или давленія въ трубопроводѣ,

ξ — коэффиціентъ сопротивленія, зависящій отъ матеріала трубы, ея діаметра, формы, длины, отъ рода жидкости и пр.

g — ускореніе силы тяжести.

При точномъ расчетѣ должно было бы быть принято во вниманіе постоянное непрерывное охлажденіе пара по мѣрѣ его движенія по паропроводу и связанное съ этимъ измѣненіе состоянія пара, но этого при обычномъ расчетѣ не дѣлаютъ. При паропроводѣ, который идетъ не горизонтально, а съ значительнымъ наклономъ къ гори-

зонту, или даже совсѣмъ вертикально, какъ въ шахтныхъ паропроводахъ, слѣдуетъ также принять во вниманіе вѣсъ столба пара въ паропроводѣ.

Изъ формулъ (143) и (144), при различныхъ мѣрахъ и различныхъ значеніяхъ величинъ h и ξ, получаются различныя формулы, встрѣчающіяся въ сочиненіяхъ о паропроводахъ. Въ разсмотрѣніе этихъ формулъ я здѣсь входить не буду. Нѣкоторыя изъ нихъ интересующіеся найдутъ въ сочиненіи проф. Гавриленко „Паровые котлы“ и въ книгѣ Wm. H. Booth: „Steam Tubes; their Design and Construction“. Я ограничусь здѣсь лишь формулой и таблицами, которыя имѣются въ книгѣ „Паръ“, изданной фирмою „Бабкокъ и Вилькоксъ“, и очень употребительны въ Англійской практикѣ.

По даннымъ Бабкока и Вилькокса расходъ пара въ одну секунду выражается слѣдующей формулой:

$$Q = 0{,}03375 \sqrt{\frac{\gamma(p_1 - p_2)d^5}{L\left(1 + \frac{9{,}14}{d}\right)}} \quad \ldots\ldots\ldots (145),$$

гдѣ

Q есть вѣсъ пара, протекающаго въ одну секунду, въ килограммахъ,
d — діаметръ трубы въ сантиметрахъ,
γ — плотность пара въ килограммахъ для одного кубическаго метра,
p_1 — начальное давленіе при выходѣ пара въ трубу } въ атмосферахъ,
p_2 — конечное давленіе при выходѣ пара изъ трубы }
L — длина трубы въ метрахъ,

На основаніи этой формулы вычислена для практическаго употребленія приводимая ниже таблица. Эта таблица даетъ вѣсъ пара, протекающаго въ *одну минуту* сквозь прямую гладкую трубу, которой длина равна 250 діаметрамъ, при различныхъ начальныхъ давленіяхъ, но при постоянной во всей таблицѣ потерѣ напора или разности начальнаго и конечнаго давленія $p_1 - p_2$, равной 0,1 атмосферы.

Начальное давленіе по манометру, въ атмосферахъ	Діаметръ трубы въ сантиметрахъ (длина трубы = 250 діаметрамъ)														
	2	2,5	4	5	6,5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	35	40	50
	Вѣсъ протекающаго въ минуту пара въ килограммахъ при потерѣ напора въ 0,1 атм.														
1	0,67	0,98	3,61	6,10	11,5	15,4	29,5	49,5	77,5	135	229	324	444	583	940
2	0,84	1,19	4,55	7,65	14,4	19,4	37,2	61,0	94,0	170	288	406	558	732	1180
3	0,97	1,36	5,22	8,80	16,6	22,3	42,7	70,2	108,0	195	332	467	640	843	1358
4	1,07	1,52	5,80	9,80	18,4	24,7	47,4	78,0	120,0	217	368	519	721	935	1510
5	1,17	1,66	6,33	10,7	20,2	27,0	51,8	85,0	131,0	237	402	568	778	1020	1645
6	1,26	1,78	6,80	11,5	21,7	29,1	55,7	93,0	140,0	254	432	609	835	1100	1770
7	1,34	1,89	7,20	12,1	23,0	30,7	59,0	97,0	149,0	270	457	645	884	1162	1878
8	1,40	1,98	7,55	12,8	24,1	32,3	62,0	102,0	156,0	283	490	677	930	1220	1960
9	1,49	2,10	8,00	13,6	25,5	34,3	65,7	108,0	166,0	300	510	720	985	1297	2080
10	1,56	2,19	8,40	14,2	26,7	35,8	68,5	113,0	174,0	313	532	750	1030	1360	2175

При иной потерѣ напора слѣдуетъ помножить табличныя величины на корень квадратный изъ этой данной потери напора (выраженной въ атмосферахъ) и раздѣлить на корень квадратный изъ 0,1. При иной длинѣ трубы, нежели 250 діаметровъ, слѣдуетъ умножить табличныя величины на корень квадратный изъ дроби

$$\frac{250}{\text{длину, выраженную въ діаметрахъ}}.$$

Наоборотъ, раздѣливъ данную длину (въ діаметрахъ) на 250, получимъ потерю напора (въ атмосферахъ) при данномъ въ таблицѣ расходѣ пара.

Потеря напора на сообщеніе пару скорости (скоростной напоръ) и потери при прохожденіи пара сквозь колѣна и вентили уменьшаютъ нѣсколько данный въ таблицѣ расходъ пара. Потеря отъ тренія въ выходномъ отверстіи и въ паропускномъ вентилѣ каждая примѣрно равна тренію въ прямой трубѣ, имѣющей длину l въ $\frac{114}{1+\frac{9{,}14}{d}}$ діаметровъ (діаметръ d здѣсь выраженъ въ сантиметрахъ).

Для приведенныхъ въ таблицѣ діаметровъ трубъ такія соотвѣтствующія добавочныя, воображаемыя длины l, выраженныя числомъ діаметровъ, будутъ:

діаметръ трубы d въ сантиметрахъ	2	2,5	4	5	6,5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	35	40
длина l, выраженная числомъ діаметровъ	20	25	35	41	47	52	60	66	71	79	84	88	90	94

Сопротивленіе отъ тренія въ закругленіи (колѣнѣ) приблизительно равно двумъ третямъ сопротивленія при проходѣ черезъ вентиль.

Эти воображаемыя длины трубъ, соотвѣтствующія потерямъ въ отверстіяхъ, закругленіяхъ, вентиляхъ и пр., слѣдуетъ всегда прибавлять къ дѣйствительной длинѣ трубы.

Напримѣръ: труба въ 100 mm діаметромъ и длиною въ 120 діаметровъ (т. е. въ 12 метровъ), имѣетъ на себѣ вентиль и три закругленія; такая труба эквивалентна прямой трубѣ въ $120+60+60+(3\times40)=360$ діаметровъ, что представляетъ длину въ 360 : 250, т. е. въ 1,44 раза бо́льшую чѣмъ та, для которой вычислена таблица. Въ этой трубѣ будетъ или теряться напоръ въ 0,144 атмосферы при томъ же расходѣ пара, или же она будетъ, при потерѣ напора въ 0,1 атмосферы, пропускать количество пара, меньше противъ табличнаго въ $\sqrt{1{,}44}$ разъ, т. е. только 83 процента того количества пара, которое протекало бы при длинѣ въ 250 діаметровъ.

Въ названной книгѣ „Паръ“ (Русское изданіе конторы Джонъ М. Сумнеръ; переводъ и обработка сдѣланы мною и проф. Гавриленко) имѣется таблица и для Англійскихъ мѣръ, удобная въ томъ случаѣ, если приходится употреблять трубы, размѣры которыхъ взяты въ Англійскихъ дюймахъ.

Изъ новѣйшихъ данныхъ для расчета паропроводовъ необходимо указать на статью Эберле въ Журналѣ Нѣмецкихъ Инженеровъ за 1908 годъ, №№ 13—17; въ которой изложены результаты обширныхъ опытовъ автора надъ движеніемъ пара въ трубахъ, преимущественно съ точки зрѣнія потерь пара отъ охлажденія. Въ этой статьѣ Эберле приводитъ и величину коэффиціента ξ въ формулѣ (144) по новѣйшимъ опытамъ, и даетъ ее, безразлично, для насыщеннаго и для перегрѣтаго пара, равной

$$\xi=\frac{21\cdot l\cdot g}{10^8\cdot d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (146),$$

такъ что формула (144) напишется теперь такъ

$$h=\frac{21\cdot l\cdot\gamma\cdot v^2}{10^8\cdot d\cdot 2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (147),$$

причемъ мѣры здѣсь предполагаются слѣдующія:

h выражено въ *атмосферахъ*,

l (длина трубы) выражено въ *метрахъ*,

d (діаметръ трубы) — тоже въ *метрахъ*,

γ (плотность пара) — въ *килограммахъ для одного кубическаго метра*,

v (скорость пара) — въ *метрахъ въ секунду*.

§ 128. Мы уже сказали раньше что и третье соображеніе надобно разсматривать въ связи съ первымъ. Именно, при теченіи по трубѣ насыщеннаго пара часть его, вслѣдствіе охлажденія трубъ и черезъ лучеиспусканіе и черезъ прямую передачу окружающему воздуху, обращается въ воду; при теченіи же перегрѣтаго пара температура его, по той же причинѣ, понижается. Чѣмъ болѣе діаметръ трубы, тѣмъ больше охлаждающая поверхность и тѣмъ болѣе потеря тепла. Поэтому, брать діаметръ трубъ очень большимъ невыгодно еще и потому, что при этомъ увеличивается потеря теплоты. Это соображеніе также вліяетъ, слѣдовательно, на выборъ діаметра или допускаемой потери давленія.

Для уменьшенія потери тепла въ настоящее время принято паропроводы покрывать толстымъ слоемъ какой нибудь изолирующей массы, плохо проводящей теплоту. При парѣ высокаго давленія, а тѣмъ болѣе при трубахъ большого діаметра, такая обмазка или защита трубъ сберегаетъ *весьма замѣтное количество тепла* (а, слѣдовательно, топлива и денегъ) и въ настоящее время хорошими заводами считается обязательною.

Вообще говоря, хорошая одежда или покрышка трубъ сберегаетъ отъ 65 до 80 процентовъ того количества теплоты, которое потерялось бы при тѣхъ же прочихъ равныхъ условіяхъ, но въ случаѣ трубы совершенно ничѣмъ не одѣтой (голой); значитъ, одежда уменьшаетъ потерю тепла противъ голой трубы въ $\frac{100}{100-65} - \frac{100}{100-80}$, т. е. въ 3—5 разъ.

Процентъ сбереженія растетъ вмѣстѣ съ температурой пара и при лучшихъ современныхъ обмазкахъ или одеждахъ доходитъ до 90%, если температура пара очень высока, такъ около 500 градусовъ Цельзія.

Паропроводъ теряетъ свою теплоту *двумя* различными способами; вопервыхъ, черезъ лучеиспусканіе, а вовторыхъ—путемъ передачи тепла окружающему воздуху въ томъ случаѣ, если воздухъ этотъ можетъ постоянно мѣняться, такъ что вокругъ трубы *циркулируетъ* непрерывный токъ нагрѣваемаго трубою воздуха.

Для опредѣленія величины этихъ потерь было произведено довольно много опытовъ, изъ которыхъ выведены какъ суммарныя величины потерь тепла трубою при различныхъ условіяхъ, такъ и формулы для предварительнаго вычисленія этихъ потерь въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Изъ опытовъ укажемъ здѣсь на опыты проф. L. Norton, Massachusets, * который опредѣлялъ количество тепла электрическимъ путемъ, производя нагрѣваніе посредствомъ электрическаго тока и учитывая количество протекшаго электричества, и на очень подробные и обстоятельные новѣйшіе опыты Эберле, продѣланные имъ въ 1905—1906 годахъ въ Мюнхенѣ. Эти послѣдніе опыты изложены подробно въ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1908 г., № 13—17, и туда слѣдуетъ обращаться за всѣми подробностями; тамъ же имѣются и данныя для расчета паропроводовъ. Важнѣйшіе результаты работъ Эберле имѣются также въ прекрасномъ сочиненіи „Rohrleitungen“, составленномъ и изданномъ Берлинской фирмою: „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“.

Что касается величинъ потери тепла трубами при различныхъ условіяхъ, опре-

---

* см. „Engineering News“, 1896 г., Aug. 13, стр. 112. Въ книгѣ *Booth*'а указанной ранѣе (стр. 449), приведено много данныхъ, взятыхъ изъ работы Нортона.

дѣленныхъ непосредственнымъ опытомъ, то мы ограничимся здѣсь указаніемъ на то, что, въ зависимости отъ температуры пара, голая ничѣмъ не защищенная труба теряетъ отъ 1000 до 2500 калорій въ часъ съ одного квадратнаго метра наружной поверхности. По опытамъ Эберле зависимость этой потери отъ температуры приблизительно выражается слѣдующей табличкой (при діаметрѣ трубы въ 70 mm):

Температура пара въ градусахъ Цельзія	134°	160°	190°
Потеря теплоты въ часъ съ 1□mt голой трубы, въ калоріяхъ	1550	2000	2500

Болѣе детально зависимость эта, по вычисленіямъ Эберле, представляется (для *перегрѣтаго* пара) слѣдующимъ образомъ:

Температура пара въ градусахъ Цельзія	100°	125°	50°	175°	200°	225°	250°	275°	300°	325°	350°	375°	400°
Потеря теплоты въ часъ съ 1□mt голой трубы, въ калоріяхъ	945	1300	1720	2170	2660	3220	3800	4460	5180	5950	6750	7700	8740

Хорошая одежда, какъ уже сказано, можетъ уменьшить эту потерю въ 5 и даже десять разъ. Сравнительное достоинство различныхъ изолирующихъ массъ показываетъ нижеслѣдующая табличка:

Вещество	Сравнительное достоинство	Вещество	Сравнительное достоинство
Шерсть	1,000	Гашеная известь	0,480
Шлаковая шерсть № 2	0,832	Коксъ изъ газовыхъ ретортъ . .	0,470
Опилки деревянныя	0,680	Азбестъ	0,363
Шлаковая шерсть № 1	0,670	Зола каменнаго угля	0,345
Древесный уголь	0,632	Коксъ кусками	0,277
Еловое дерево, поперекъ волоконъ	0,553	Нераздѣленное воздушное пространство	0,136
Глина сухая, въ порошкѣ . . .	0,550		

Что̀ касается теоретическаго опредѣленія количества тепла, теряемаго трубою, то въ настоящее время, повидимому, самой точной формулою слѣдуетъ признать формулу, приводимую Эберле, именно:

$$W = b(t_w - t_l) + C\left\{\left(\frac{273 + t_w}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + t_l}{100}\right)^4\right\}F \quad \cdot \cdot \cdot (148).$$

Въ этой формулѣ первый членъ представляетъ потерю теплоты черезъ нагрѣваніе воздуха, а второй — черезъ лучеиспусканіе (эта послѣдняя величина вычисляется на основаніи закона Стефана-Больтцманна *).

---

* см., напримѣръ, „Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung“ von Dr. Max Planck, Leipzig, 1906, §§ 61—70.

Въ формулѣ (148) означаютъ

W — количество теплоты, теряемое трубою въ одинъ часъ, въ калоріяхъ,

C — постоянное,

F — наружную поверхность трубы въ □ метрахъ,

b — коэффиціентъ передачи теплоты непосредственнымъ соприкосновеніемъ,

t_l — температуру окружающаго трубу воздуха,

t_w — температуру стѣнки трубы на ея наружной поверхности.

Величина коэффиціента b принимается отъ 4 до 6.

Величина коэффиціента C принимается равной 4.

Насколько велика бываетъ полная потеря теплоты легко усмотрѣть изъ слѣдующаго примѣра:

При трубѣ въ 60 метровъ длиною и діаметромъ въ 150 mm, по которой идетъ насыщенный паръ съ температурою въ 190° Цельзія, и при температурѣ внѣшняго воздуха въ 20° Ц., потеря теплоты въ 300 рабочихъ дней въ году, считая день въ 10 рабочихъ часовъ, будетъ составлять (какъ среднее изъ формулъ Пекле и Стефана-Больтцманна) 192000000 калорій, чему соотвѣтствуетъ годовой расходъ угля почти въ 2400 пудовъ.

Что̀ касается *стоймости* изоляціи, то приблизительно можно считать, что первоначальная затрата на устройство таковой окупится экономіей въ расходѣ топлива за періодъ времени не болѣе одного года, а экономія топлива въ дальнѣйшемъ будетъ уже представлять чистый барышъ.

Вещества, служащія для тепловой изоляціи паропроводовъ, должны быть по возможности легкими, несгараемыми и неразрушающимися отъ дѣйствія высокой температуры пара, особенно перегрѣтаго, не должны разрушаться и измѣнять свою структуру со временемъ, вслѣдствіе сотрясеній и пр., и должны плохо проводить теплоту.

Наиболѣе употребительными въ настоящее время веществами являются: углекислая магнезія, азбестъ, минеральная шерсть, шелкъ, пробка, кизельгуръ (инфузорная земля).

Вообще же для одежды трубъ было испробовано довольно много различныхъ матеріаловъ; такъ, кромѣ названныхъ выше, были примѣняемы: войлокъ, глина, бумажныя волокна, древесный уголь, и различныя смѣси изъ всѣхъ этихъ веществъ, воздушный слой, и пр.

Что̀ же касается конструктивныхъ, такъ сказать свойствъ этихъ веществъ, то на этотъ счетъ можно замѣтить слѣдующее.

Шлаковая шерсть (волокна изъ доменнаго и вагранoчнаго шлака) хороша тѣмъ, что несгараема, но обладаетъ и весьма крупнымъ недостаткомъ, именно, съ теченіемъ времени, отъ сотрясеній и пр., она разрушается и обращается въ порошокъ; такой порошокъ уже плохо защищаетъ трубы отъ охлажденія, и, кромѣ того, является причиною довольно опасныхъ *заболѣваній* рабочаго персонала, такъ какъ порошокъ и острыя иглы лѣзутъ въ носъ и ротъ, причиняя заболѣванія о́ргановъ дыханія, а также забиваются подъ ногти, причиняя и здѣсь опасныя заболѣванія, которымъ подвергались даже лица, работавшія съ этой шерстію лишь въ лабораторіяхъ, въ удобной и чистой обстановкѣ.

Пробковые обрѣзки обыкновенно склеиваютъ какимъ нибудь подходящимъ веществомъ и образуютъ изъ нихъ камни (примѣръ такой изоляціи показанъ на табл. 80, фиг. 3—4 *Атласа*). Во Франціи примѣнялась часто одежда изъ *древесныхъ опилокъ*, смѣшанныхъ съ клейстеромъ; такая смѣсь наносится въ 4 – 5 слоевъ, каждый около 5—6 mm толщины, и, если трубы очищены отъ жира, крѣпко къ нимъ пристаетъ (къ чугуну и желѣзу; красную мѣдь надо сперва прокрасить водою съ глиной). Для защиты отъ воды сверху покрываютъ еще слоемъ смолы.

Фирма Бабкокъ и Вилькоксъ рекомендуетъ слѣдующую изоляцію. Сперва обер-

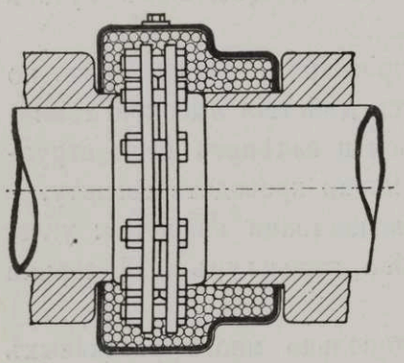
нуть трубу *азбестовымъ картономъ*, затѣмъ по длинѣ трубы положить деревянныя планки, числомъ отъ 6 до 12, связать ихъ крѣпко проволокой или шнуркомъ, на эту рамку навернуть кровельный толь и укрѣпить его клейстеромъ или шнуркомъ. Для защиты отъ непогоды можно осмолить или закрасить краской.

Слѣдуетъ замѣтить, что вообще при всякихъ способахъ изоляціи, гдѣ вокругъ трубы имѣется слой воздуха, этотъ слой воздуха *непремѣнно долженъ быть совершенно разобщенъ отъ наружной атмосферы*, чтобы воздухъ вокругъ трубы не могъ мѣняться, такъ какъ иначе труба будетъ не изолирована, а явится въ роли парового отопленія!

Слѣдуетъ замѣтить, что *самъ по себѣ азбестъ не есть изоляторъ отъ теплоты;* напротивъ, въ плотномъ видѣ онъ хорошо проводитъ теплоту; поэтому, азбестомъ пользуются лишь какъ несгараемымъ матеріаломъ и употребляютъ его въ соединеніи съ другими изоляторами, напр. съ магнезіей, или же пользуются азбестовымъ картономъ для образованія воздушнаго слоя, для раздѣленія шелковой изоляціонной массы и т. п.

Дерево при высокой температурѣ можетъ явиться весьма опаснымъ, такъ какъ внутри наружнаго чехла (изъ картона, жести и пр.) дерево можетъ понемногу совершенно обуглиться и затѣмъ внезапно воспламениться, если съ горячей трубы будетъ снятъ чехолъ и воздухъ получитъ доступъ къ дереву.

Въ послѣднее время въ продажѣ имѣется много различныхъ сортовъ изолирующихъ веществъ, по большей части подъ спеціальными названіями; такія вещества составляются обыкновенно изъ сочетанія нѣсколькихъ простыхъ веществъ, съ цѣлію придать массѣ свойства малой теплопроводности, несгараемости, неразрушаемости и пр.



Чер. 332.

Въ прежнее время покрывались одежлой только сами трубы, т. е. цилиндрическая ихъ часть; что же касается флянцевъ, то эти послѣдніе оставляли открытыми, для того, чтобы можно было во всякое время осматривать флянцы и подтягивать болты въ случаѣ течи. Но, по мѣрѣ повышенія давленія и температуры пара, становилась все замѣтнѣе та потеря теплоты, которая происходила черезъ эти голые флянцы; поэтому, въ настоящее время, при парѣ высокаго давленія, а тѣмъ болѣе сильно перегрѣтомъ, считается обязательнымъ защищать отъ потери тепла не только трубы, но и флянцевыя соединенія, покрывая эти послѣднія изоляціей такъ, чтобы эта покрышка не препятствовала свободному осмотру и подтяжкѣ соединенія. Первый починъ въ этомъ направленіи сдѣлала фирма Ф. Зейффертъ, которая сконструировала весьма удобные чехлы или футляры для одѣванія флянцевъ, причемъ внутри этихъ футляровъ находится изолирующее вещество. Такой футляръ фирмы Зейффертъ изображенъ на чер. 332. Какъ видно, флянецъ здѣсь одѣтъ при помощи обмотки изъ азбестоваго шнура, кизельгура и т. п., и затѣмъ на эту обмотку надѣтъ чугунный чехолъ, свернутый изъ двухъ половинокъ. Для того, чтобы можно было узнать — не течетъ ли стыкъ флянцевъ, въ чехолъ вставляютъ небольшую трубочку, изъ которой, въ случаѣ течи, начинаетъ сочиться вода или паръ.

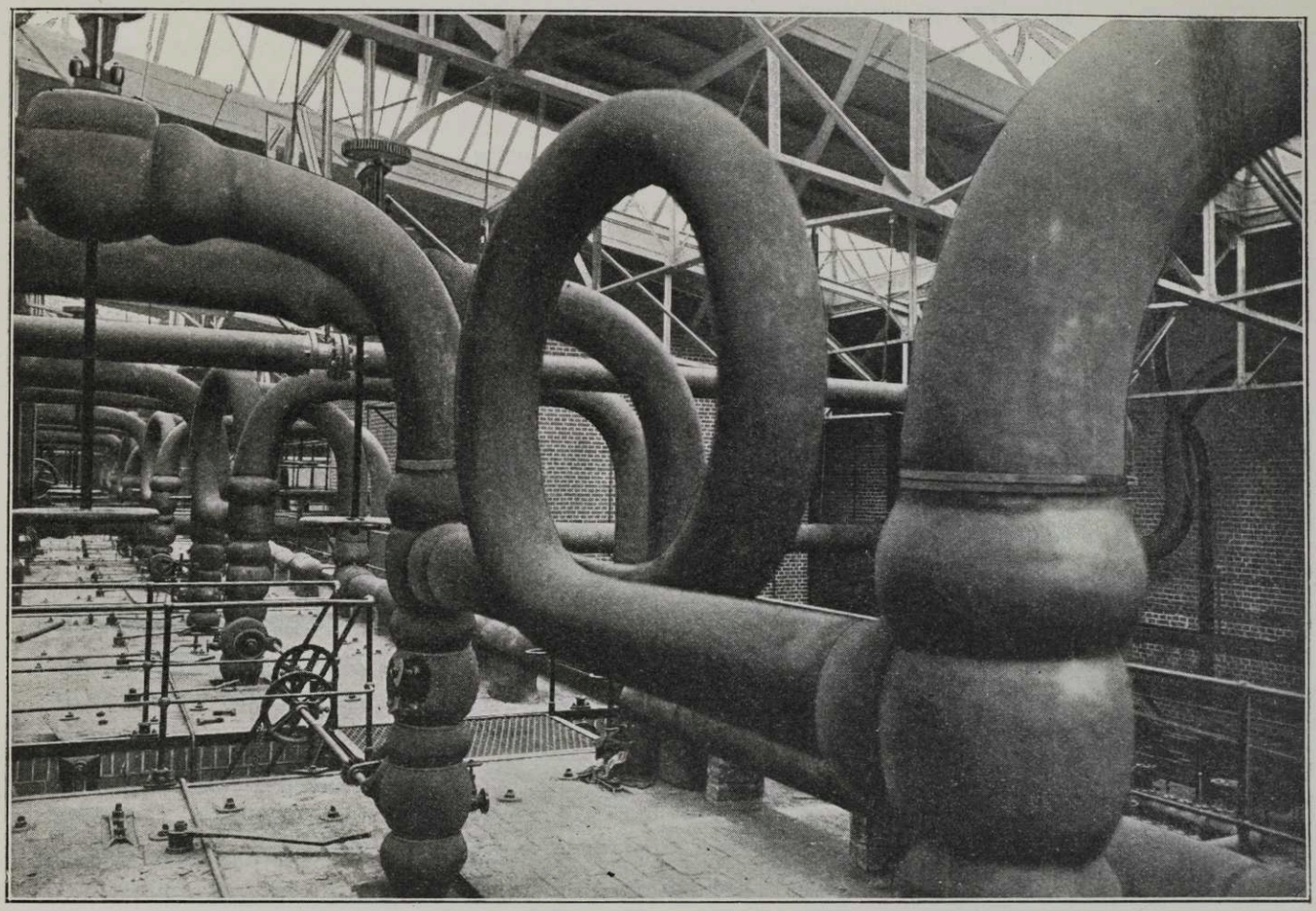
Потеря тепла черезъ голые флянцы можетъ составлять около 6—8 процентовъ потери черезъ цилиндрическія части самихъ трубъ, и изъ этого ясно, что изоляція флянцевъ даетъ значительную экономію тепла, почему теперь она и считается обязательной. Подобнымъ же образомъ, полезно защищать отъ охлажденія и вентили, фасонныя части, сепараторы * и подобныя имъ детали, вставленныя въ паропроводъ.

---

* хотя далеко не всѣ такія детали и аппараты бываютъ приспособлены для этого; поэтому, при проектированіи современныхъ принадлежностей паропроводовъ слѣдуетъ думать объ этомъ обстоятельствѣ.

Примѣръ вполнѣ защищеннаго паропровода показанъ на чер. 333, представляющемъ паропроводъ Берлинской Электрической Силовой Станціи въ Руммельсбургѣ, выполненный фирмою „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“, въ Берлинѣ. На этой фотографіи виденъ и петлеобразный расширитель, устроенный по типу, изображенному раньше на чер. 289.

Такъ какъ труба подъ слоемъ одежды можетъ съ теченіемъ времени подвергаться порчѣ (и въ особенности разъѣданію въ пароходныхъ паропроводахъ), то время отъ времени необходимо *всю одежду удалять* и трубу *осматривать*. Для паро-



Чер. 333.

ходныхъ паропроводовъ въ 1905 году въ Англіи былъ установленъ срокъ осмотра— **черезъ каждые четыре года.**

§ 129. Относительно *матеріала* для трубъ все главное уже сказано ранѣе, и здѣсь остается только резюмировать то, что̀ изложено въ предыдущихъ главахъ.

Чугунъ, который раньше употреблялся для паропроводовъ въ самыхъ широкихъ размѣрахъ, въ настоящее время уступилъ мѣсто желѣзу и стали, и только въ Англіи встрѣчаются еще и до сихъ поръ чугунные паропроводы значительнаго діаметра и на большое давленіе. Печальные примѣры поломокъ такихъ паропроводовъ были приведены мною въ главѣ VII.

Главными причинами, по которымъ чугунъ изгоняется въ настоящее время изъ паропроводовъ высокаго давленія, являются его малая способность сопротивляться ударному дѣйствію силъ, его малая мягкость; затѣмъ, въ чугунныхъ трубахъ и фасонныхъ частяхъ всегда могутъ оказаться при отливкѣ раковины и пр., открыть которыя довольно трудно, а иногда и невозможно, и которыя при случаѣ могутъ явиться причиною поломки. На основаніи этого, нѣкоторыя страны, какъ, напримѣръ, Германія,

пришли къ тому, чтобы въ нѣкоторыхъ случаяхъ ограничить а въ иныхъ даже совершенно запретить употребленіе чугуна для частей, входящихъ въ составъ паропровода. Какъ указано на табл. 87 *Атласа*, Нормами Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ въ 1900 году

чугунъ

a). *совершенно запрещается* при давленіяхъ начиная съ 13 атмосферъ и выше; исключеніе дѣлается лишь для вентилей менѣе 50 mm діаметромъ.

b). *допускается съ ограниченіями:*

I. — При давленіяхъ отъ 8 до 13 атм. допускается

для трубъ — при діаметрѣ менѣе 150 mm;
для тѣлъ вентилей и фасонныхъ частей — при всякомъ діаметрѣ.

II. — При давленіяхъ до 8 атм. допускается

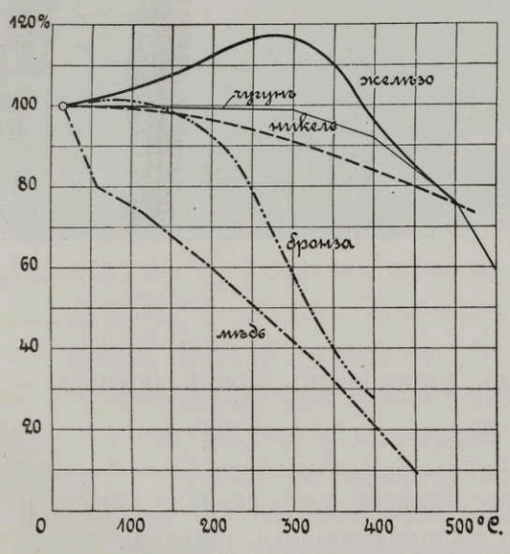
для трубъ, вентилей и фасонныхъ частей при всякомъ діаметрѣ ихъ.

Къ сожалѣнію, въ прочихъ странахъ эти ограниченія плохо прививаются, а между тѣмъ опасность чугунныхъ трубъ и деталей въ паропроводахъ высокаго давленія очень велика, и починъ Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ можно только привѣтствовать и желать предлагаемымъ мѣрамъ возможно скораго дальнѣйшаго распространенія.

Качества чугуна для паропроводовъ приведены на той же таблицѣ.

Мѣдь въ настоящее время тоже уступаетъ мѣсто желѣзу и стали. Послѣ того, что̀ изложено было въ главѣ XI, говорить здѣсь болѣе нечего. Остается повторить, что большія мѣдныя трубы въ настоящее время являются анахронизмомъ.

Желѣзо и **сталь** являются въ настоящее время матеріалами, наиболѣе пригодными для паропроводовъ высокаго давленія и перегрѣтаго пара. Оба эти матеріала отличаются значительною крѣпостію, такъ что трубы изъ нихъ выходятъ довольно легкими; мягкость желѣза и стали въ смыслѣ сопротивленію ударному дѣйствію силъ тоже не оставляетъ желать ничего лучшаго; наконецъ, матеріалы эти не дороги.



Чер. 334.

Крѣпость желѣза и стали тоже мало страдаетъ при повышеніи температуры и даже наблюдается тотъ любопытный фактъ, что до температуры около 300° Цельзія крѣпость желѣза даже повышается. Въ этомъ отношеніи желѣзо и сталь стоятъ несравненно выше мѣди и бронзы, у которыхъ коэффиціентъ крѣпости весьма быстро падаетъ съ повышеніемъ температуры, и съ желѣзомъ можетъ соперничать еще лишь только никель, который тоже весьма мало слабѣетъ съ повышеніемъ температуры. Для нагляднаго сравненія на чер. 334 показаны въ видѣ кривыхъ зависимости коэффиціентовъ крѣпости * литого желѣза, никеля, мѣди и бронзы отъ температуры (данныя эти, конечно, приблизительны); составъ бронзы былъ: мѣди — 91,4%, цинка — 2,8%, олова — 5,5%.

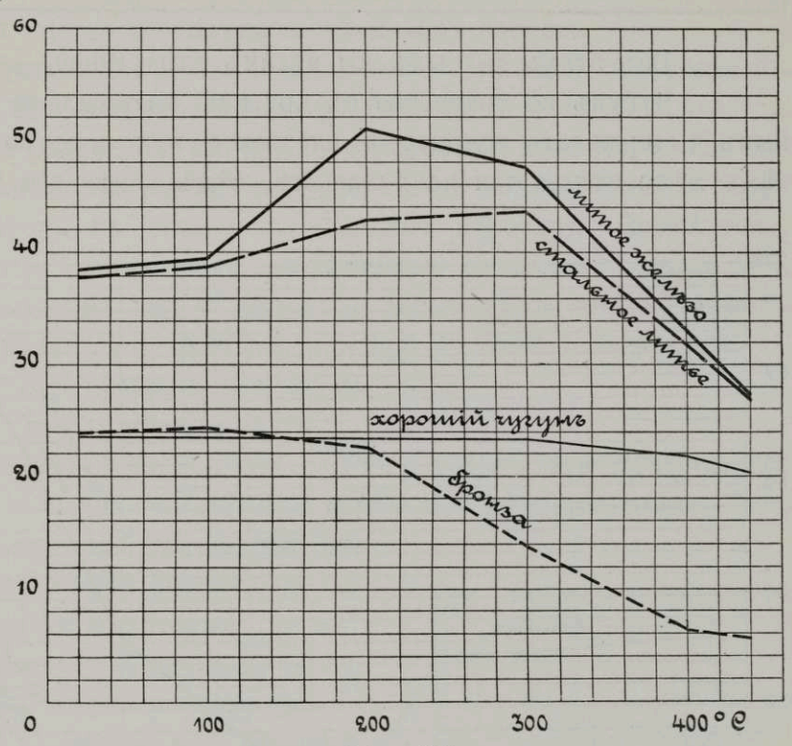
Подробности относительно качествъ желѣза и стали для паропроводовъ высокаго давленія имѣются на таблицѣ 87 *Атласа*.

---

* въ %; величина коэффиціента крѣпости каждаго матеріала при температурѣ въ 15° Цельзія принята равной единицѣ, т. е. въ % равной 100 процентамъ.

Допускаемое напряженіе берется въ различныхъ странахъ различно. Примѣры имѣются на табл. 78 и 87, гдѣ приведены формулы Американскаго флота и Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ.

Для устройства трубъ и простыхъ фасонныхъ частей, которыя могутъ быть образованы изъ листовъ посредствомъ сварки или склепки, мы имѣемъ въ настоящее время превосходные матеріалы въ лицѣ желѣза и стали, если требуется по трубамъ проводить паръ высокаго давленія или же сильно перегрѣтый. Нѣсколько иначе обстоитъ дѣло съ корпусами вентилей и другихъ сложныхъ фасонныхъ частей, которые не могутъ быть образованы изъ листового металла, а должны быть получены путемъ отливки. Чугунъ при высокомъ давленіи пара не годится, и остаются — бронза и стальное литье. До появленія сильно перегрѣтаго пара почетомъ пользовалась во всѣхъ серьезныхъ случаяхъ практики бронза, въ особенности на судахъ военнаго флота. Но за послѣдніе 10—12 лѣтъ многочисленные опыты (главнымъ образомъ Баха) показали, что при высокой температурѣ пара (при насыщенномъ парѣ очень высокаго давленія и при парѣ сильно перегрѣтомъ) качества бронзы, какъ матеріала, настолько ухудшаются, что она является матеріаломъ *совершенно не пригоднымъ* для всѣхъ тѣхъ деталей, отъ которыхъ требуется достаточная прочность, которыя подвергаются дѣйствію значительныхъ силъ и которыя не могутъ быть спроектированы съ очень большими размѣрами сопротивляющихся сѣченій. Именно, съ увеличеніемъ температуры весьма быстро *понижается крѣпость бронзы*, а также уменьшается и ея мягкость.



Чер. 335.

Несравненно болѣе надежнымъ матеріаломъ въ этомъ отношеніи является *стальное литье*, которое теперь и признается наиболѣе подходящимъ матеріаломъ для корпусовъ вентилей и фасонныхъ частей, работающихъ съ сильно перегрѣтымъ паромъ, или даже съ насыщеннымъ паромъ очень высокаго давленія.

Мягкость матеріала теперь измѣряютъ или работой деформаціи до полнаго разрыва, или же работой деформаціи до наступленія наибольшаго напряженія. Если эту послѣднюю работу называть черезъ A, коэффиціентъ крѣпости матеріала черезъ Z, а полное удлиненіе до разрыва черезъ i, то на основаніи опытовъ Баха можно составить нижеслѣдующія сопоставленія:

I). **Уменьшеніе крѣпости съ увеличеніемъ температуры.**

На діаграммѣ чер. 335 показано измѣненіе коэффиціента крѣпости Z (въ kg/□mm) съ увеличеніемъ температуры для чугуна, бронзы, желѣза и стального литья.

II). **Измѣненіе удлиненія.**

На діаграммѣ чер. 336 показано измѣненіе удлиненія i для бронзы и стального литья съ увеличеніемъ температуры.

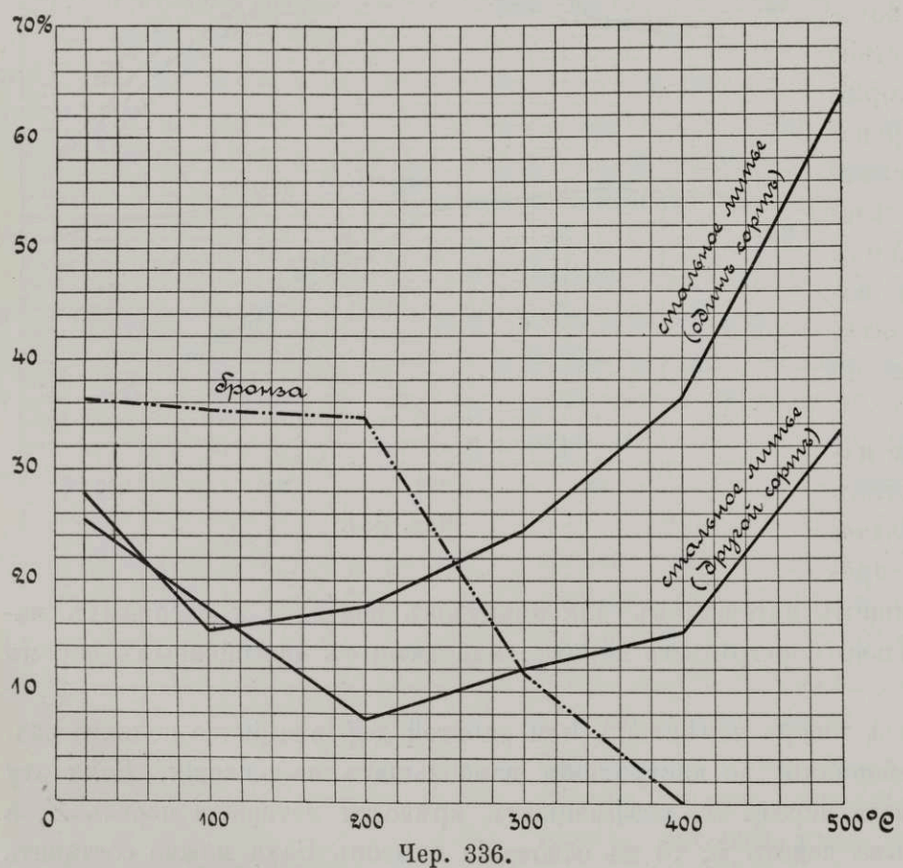
III). **Сравненіе мягкостей чугуна, бронзы, желѣза и стального литья** (при *обыкновенной* температурѣ).

Въ нижеслѣдующей табличкѣ приведены *абсолютныя* величины работы растяженія A въ килограммометрахъ на одинъ кубическій сантиметръ матеріала *, и сравнительныя величины; при вычисленіи этихъ послѣднихъ работа A для чугуна ($A_ч$) принята за единицу.

	Чугунъ	Сварочное желѣзо		Литое желѣзо	Литая сталь		Мягкое стальное литье	Мѣдь	Бронза	
		плохое	хорошее						плохая	хорошая
A	0,092	2,81	6,11	6,76	9,38	8,47	8,62	7,11	1,156	4,66
$\frac{A}{A_ч}$	1	30,5	66,4	73,5	102	92,1	93,7	77,3	12,6	50,7

Изъ этихъ данныхъ мы видимъ слѣдующее.

Чугунъ по сравненію съ другими матеріалами является настолько малоспособнымъ выдерживать ударное и внезапное или перемѣнное дѣйствіе нагрузокъ (которое тѣмъ хуже отзывается на матеріалѣ, чѣмъ менѣе его живое сопротивленіе, измѣряемое величиною A), что совершенно не годится для отвѣтственной работы въ паропроводахъ при высокомъ давленіи, какъ и указывалось ранѣе. Но какъ матеріалъ для вентилей и фасонныхъ частей, подверженныхъ высокой температурѣ, хорошій чугунъ можетъ оказаться лучше бронзы, такъ какъ его крѣпость весьма мало уменьшается съ температурой, въ противоположность бронзѣ.



Чер. 336.

Крѣпость и мягкость бронзы, подобно тому, какъ и при мѣди, весьма замѣтно уменьшаются съ повышеніемъ температуры, и поэтому въ настоящее время бронза признается, по Баху, весьма сомнительной для перегрѣтаго пара съ температурой около 250—260° Цельзія и *совершенно непригодной для сильно перегрѣтаго пара* (300—350° Ц.).

Стальное литье, котораго качества мало измѣняются даже при современныхъ высокихъ температурахъ пара, является матеріаломъ наиболѣе подходящимъ для фасонныхъ частей паропроводовъ съ высокой температурой пара. Впрочемъ, слѣдуетъ

* Работа берется съ начала растяженія до момента наступленія наибольшаго напряженія на разрывъ (см. Z. d. V. d. I., 1899 г., № 13).

обратить вниманіе на то, что, какъ видно изъ діаграммъ, качества стального литья, и въ особенности его удлиненіе, могутъ, при повышеніи температуры, оказаться весьма различными у разныхъ сортовъ стального литья (чер. 336).

Для уничтоженія напряженій при отливкѣ рекомендуется корпуса вентилей и прочія фасонныя части, отлитыя изъ стального литья, *отжигать* передъ обработкой.

Хотя въ „Нормахъ“ Нѣмецкихъ инженеровъ указано, что для стального литья необходимъ наименьшій коэффиціентъ крѣпости въ 38 kg/□mm, при удлиненіи не менѣе 20%, однако это нисколько не значитъ, что стальное литье всегда должно непремѣнно имѣть удлиненіе не менѣе 20%; напротивъ, если употребляется стальное литье съ болѣе высокимъ коэффиціентомъ крѣпости, то удлиненіе можетъ быть менѣе, такъ 17—18%. Напр., Германское Морское Вѣдомство позволяетъ при стальномъ литьѣ съ крѣпостію въ 40 kg/□mm имѣть удлиненіе въ 18%.

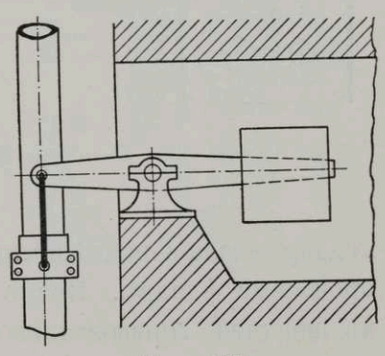
Слѣдуетъ еще упомянуть о матеріалахъ для шпинделей (винтовъ) и клапанныхъ сѣделъ вентилей паропроводовъ высокаго давленія и температуры.

При высокой температурѣ шпинделя теперь дѣлаютъ не изъ бронзы, какъ прежде, а изъ стали, къ которой иногда прибавляютъ нѣсколько никеля.

Клапаны и клапанныя сѣдла изъ бронзы тоже пришлось оставить и теперь въ большомъ ходу особыя кольца изъ никелеваго сплава (никель со сталью, бронзой и т. п.), впресованныя въ стальной клапанъ и въ сѣдло, отлитое за одно цѣлое съ тѣломъ вентиля. Такіе сплавы отличаются вязкостію, поверхность всегда остается гладкой, перегрѣтый паръ не дѣйствуетъ на нихъ разрушающимъ образомъ. Кромѣ того, весьма важнымъ является то обстоятельство, что коэффиціентъ расширенія никеля отъ теплоты почти одинаковъ съ таковымъ же у стального литья, такъ что не можетъ происходить ослабленія посадки кольца въ тѣлѣ вентиля при высокой температурѣ.

Содержаніе никеля въ сплавѣ бываетъ отъ 50 до 90%.

§ 130. Относительно *свободнаго расширенія* трубопроводовъ все существенное уже сказано ранѣе, въ главахъ о прочности стѣнокъ трубъ и о расширителяхъ. Такъ какъ удержать насильно паропроводъ отъ расширенія невозможно, то приходится всю сѣть трубъ разбить на отдѣльныя части или вѣтви, укрѣпивши нѣкоторыя „точки“ этихъ вѣтвей, и вставивши въ нихъ расширители, такъ, чтобы все измѣненіе длины каждой вѣтви поглощалось бы расширителемъ. О неподвижныхъ точкахъ и о расширителяхъ говорилось ранѣе, здѣсь остается сказать только о поддержкахъ для трубъ.



Чер. 337.

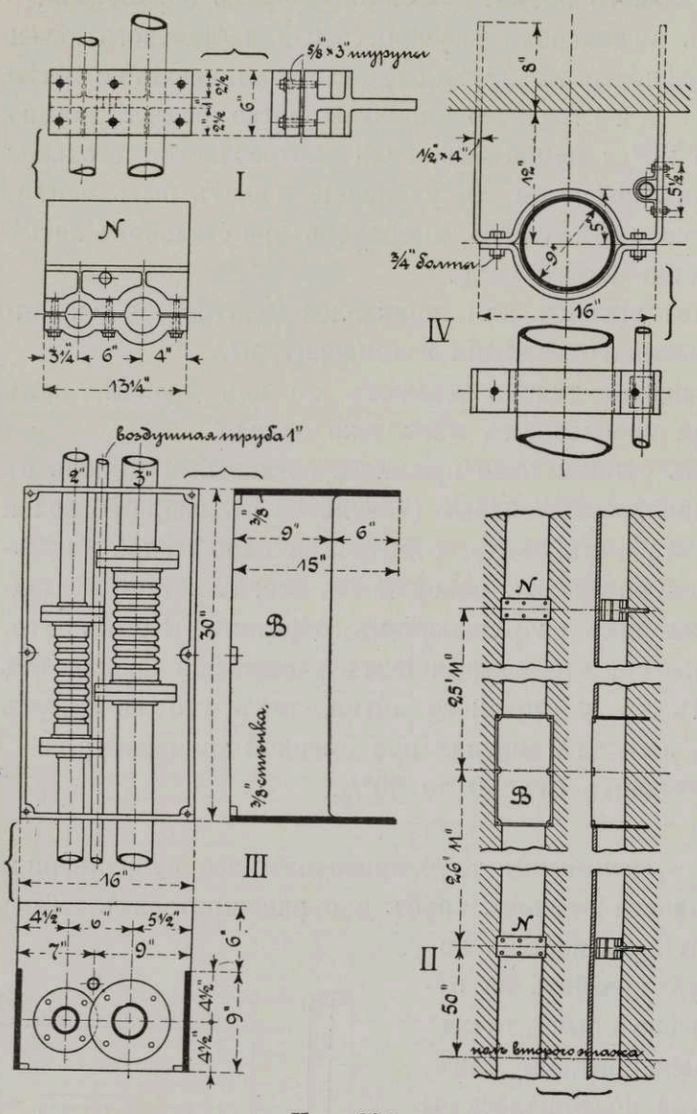
Вообще говоря, при длинныхъ вѣтвяхъ, однѣхъ неподвижныхъ точекъ недостаточно для поддержки на вѣсу трубопровода и придѣланныхъ къ нему расширителей, вентилей и другихъ частей. Длинныя вѣтви трубопровода, идутъ ли онѣ вертикально, горизонтально или наклонно, приходится поддерживать во многихъ мѣстахъ длины, для предотвращенія слишкомъ большого прогиба горизонтальныхъ частей и слишкомъ сильнаго сжатія вертикальныхъ, а также иногда для устраненія бокового прогиба этихъ послѣднихъ.

Объ опорахъ для *вертикальныхъ* вѣтвей трубопроводовъ говорилось ранѣе, на стр. 40—41; въ дополненіе къ сказанному тамъ прибавимъ здѣсь лишь немногое.

Въ шахтныхъ глубокихъ трубопроводахъ нерѣдко поддерживаютъ трубы при помощи противовѣсовъ, какъ для облегченія свободы расширенія трубъ, такъ и для удобства смѣны прокладокъ и т. п. Схема такого противовѣса показана на чер. 337.

На чер. 338, I, показано устройство неподвижной точки для восходящихъ паропроводовъ центральнаго парового отопленія въ 14-этажномъ домѣ Temple Bar Building, въ Бруклинѣ. Полная высота трубы—191 футъ. На этой длинѣ имѣются три неподвиж-

ныя точки показаннаго устройства, а между ними помѣщены волнистые расширители. Расположеніе части трубопровода, съ разстояніями, показано на чер. 338, II. Расширители заключены въ чугунныя коробки чер. 338, III. Узкая шахта или каналъ въ стѣнѣ, въ которой идутъ трубы, наполнена минеральною шерстію и прикрыта сверху металлической крышкой.



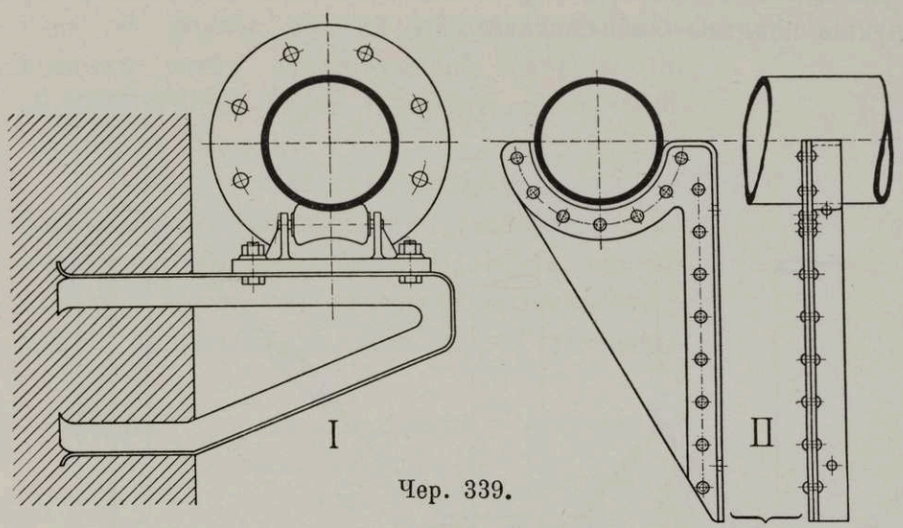
Чер. 338.

На чер. 338, IV, показаны также поддержки для восходящей пароотводной трубы, отводящей весь мятый паръ въ воздухъ. Вѣсъ трубы переданъ весь на нижнюю ея часть, гдѣ имѣется колѣно, стоящее на фундаментѣ, а показанныя здѣсь скобы только предохраняютъ трубу отъ наклона въ стороны. Труба сдѣлана изъ гальванизированнаго желѣза.

Нижеслѣдующій случай изъ практики хорошо иллюстрируетъ необходимость — обдумать ясно, при проектированіи паропровода, всѣ будущія обстоятельства его работы. Линія желѣзныхъ паропроводныхъ трубъ, чрезвычайно тяжелаго образца, имѣвшихъ 14 дюймовъ въ діаметрѣ, шла на значительномъ протяженіи горизонтально, и здѣсь лежала на каменныхъ опорахъ. Затѣмъ она загибала вертикально вверхъ и шла вертикально на протяженіи около 30 футъ, послѣ чего опять поворачивала и вновь шла на значительной длинѣ горизонтально, причемъ эта послѣдняя часть трубы поддерживалась подвѣсными стержнями, спускавшимися со стропилъ. Трубопроводъ имѣлъ бронзовые флянцы. Послѣ пуска установки въ работу наблюдались постоянныя течи въ верхней горизонтальной части трубы, покоившейся на спущенныхъ со стропилъ подвѣсахъ. Изслѣдованіе показало, что причиною этого являлось расширеніе вертикальной части паропровода; благодаря ему, горизонтальная верхняя часть трубопровода была приподымаема съ мѣста, съ своихъ подвѣсныхъ опоръ, и, оставаясь такимъ образомъ на вѣсу, давала течь во флянцахъ. Послѣ того, какъ подъ гайки подвѣсовъ, поддержившихъ горизонтальную часть, были помѣщены сильныя спиральныя пружины, благодаря значительной деформаціи которыхъ поддержка все время слѣдовала за трубой, такъ что эта послѣдняя не лишалась опоры, не смотря на свое приподыманіе, непріятности прекратились.

Поддержки для *горизонтальныхъ* трубъ должны быть устроены такимъ образомъ, чтобы онѣ мѣшали трубѣ изгибаться, но въ то же время позволяли бы ей свободно (практически, а собственно — съ малымъ треніемъ) удлиняться и укорачиваться при измѣненіяхъ температуры, т. е. позволяли бы элементамъ трубы перемѣщаться по направленію оси ея. Только при соблюденіи этого условія расширители будутъ свободно поглощать все то удлиненіе, которое труба стремится получить при извѣстномъ

измѣненіи температуры, и труба не будетъ подвергаться дѣйствію добавочныхъ нагрузокъ отъ сопротивленія движенію въ неудачно устроенной поддержкѣ.



Чер. 339.

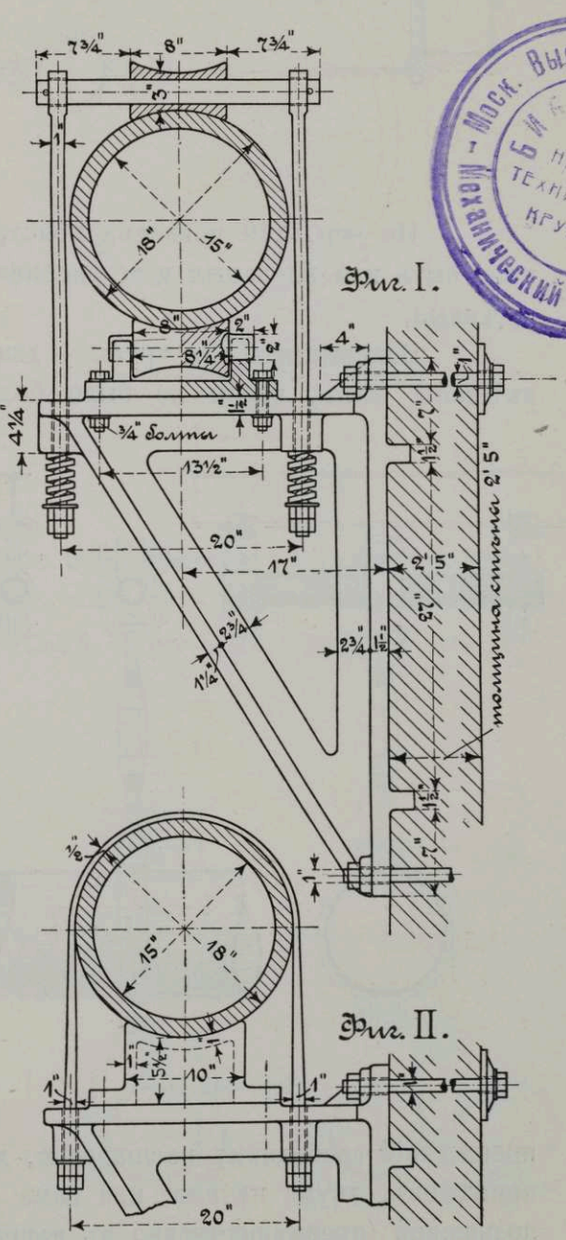
Конструкціи поддержекъ бываютъ весьма разнообразны, въ зависимости, вопервыхъ, отъ фантазіи конструктора, а затѣмъ и отъ того, къ какимъ частямъ зданія или сооруженія прикрѣпляются эти поддержки, къ стѣнамъ ли, потолку, полу, стропиламъ, судовымъ переборкамъ и пр. и пр.

Для того, чтобы предоставить удлиненію трубы возможно малое сопротивленіе, труба или кладется на ролики, имѣющіе опору въ той поддержкѣ, которая прикрѣпляется къ стѣнамъ, потолку и пр., или же сама поддержка конструируется такъ, что возможно движеніе одной ея части относительно другой; такъ, обѣ части поддержки соединяются другъ съ другомъ при помощи глазка, или цѣпного звѣна, или же вводится между ними роликъ и т. п.

Приведемъ здѣсь нѣсколько примѣровъ употребительныхъ и типичныхъ конструкцій поддержекъ или опоръ для паропроводовъ.

Главныхъ типовъ опоръ можно намѣтить *три*, въ зависимости отъ того, прикрѣпляется ли опора къ стѣнѣ (или колоннѣ и т. п.), къ потолку (балкамъ, стропиламъ и т. п.) или къ полу.

Первый типъ опоръ будутъ *кронштейны*, приспособленные для поддержки трубъ. Примѣры такихъ опоръ показаны на чер. 339, фиг. I — II. Кронштейны бываютъ или желѣзные, согнутые изъ углового желѣза, чер. 339, I, или изъ двутавровыхъ балокъ и т. п., или же клепаные, чер. 339, II; но можно класть трубы и на чугунныхъ кронштейнахъ, приспособленныхъ для этой цѣли. На чер. 340 показана конструкція опоръ для чугуннаго паропровода силовой электрической станціи Union Traction Company at Anderson, Indiana; на фиг. I этого чертежа показана опора, дающая трубѣ возможность расширяться свободно, и для болѣе легкой регулировки нажатія на трубу верхнимъ роликомъ введены пружины; на фиг. II показана неподвижная точка этого трубопровода; разстояніе между двумя смежными кронштейнами равно 11 футамъ.

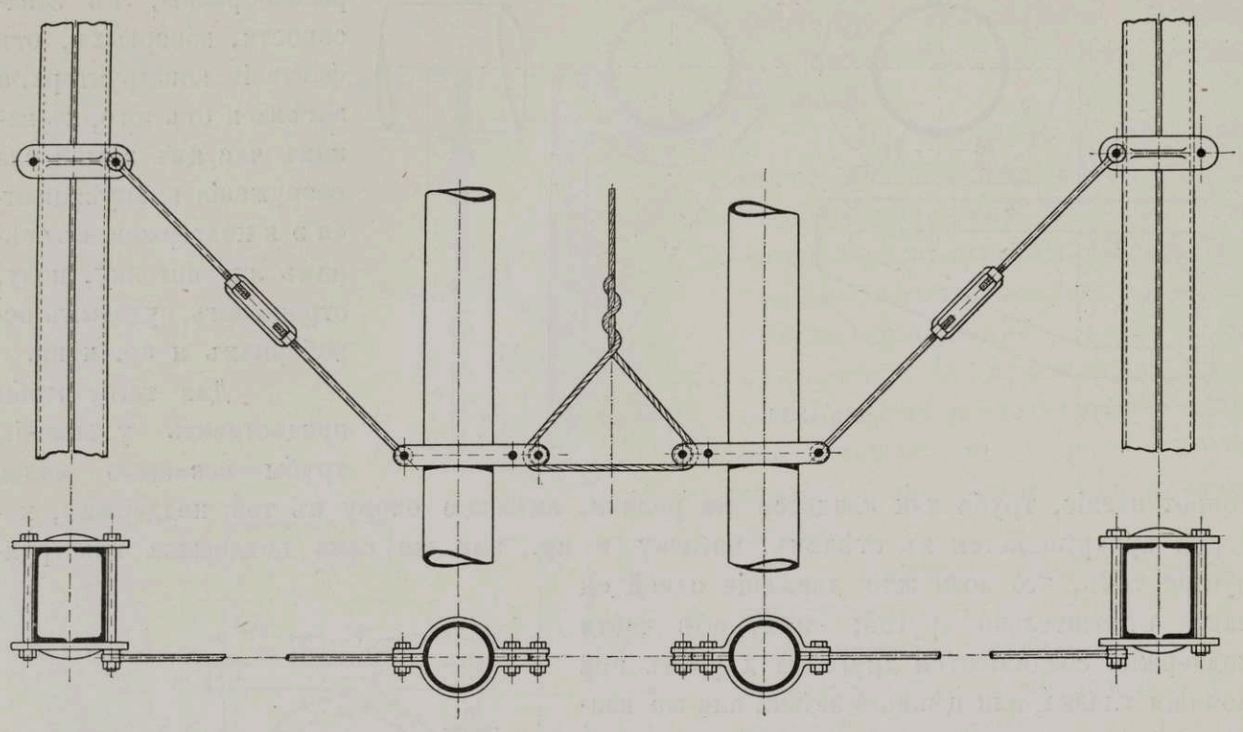


Чер. 340.

Моск. Высш. Техн. Учил. Механическій Факультетъ. Библіотека на Технич. Кругѣ

На чер. 341 показано прикрѣпленіе вертикальныхъ трубопроводовъ къ колоннамъ; подобнымъ же образомъ могутъ быть подвѣшиваемы и горизонтальныя трубы.

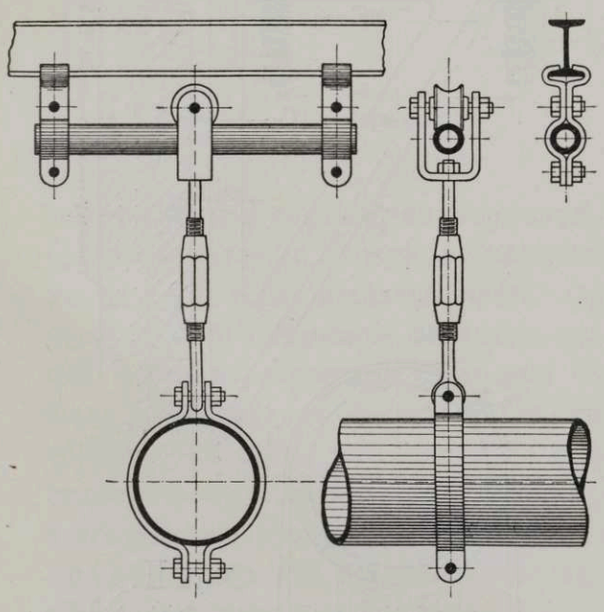
Примѣры опоръ, прикрѣпленныхъ къ потолочнымъ балкамъ, приведены на чер. 342—348. Эти конструкціи понятны безъ описанія.



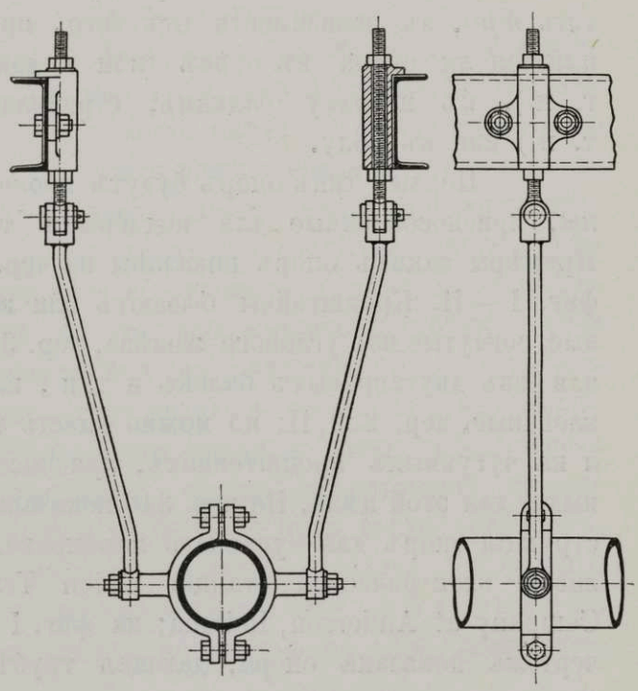
Чер. 341.

На чер. 349 показана конструкція опоры, стоящей на полу. Такія опоры могутъ быть или клепаныя изъ фасоннаго желѣза, какъ показано на чертежѣ, или литыя чугунныя.

Возможность для трубы — двигаться въ опорѣ такъ, чтобы не было большихъ



Чер. 342.

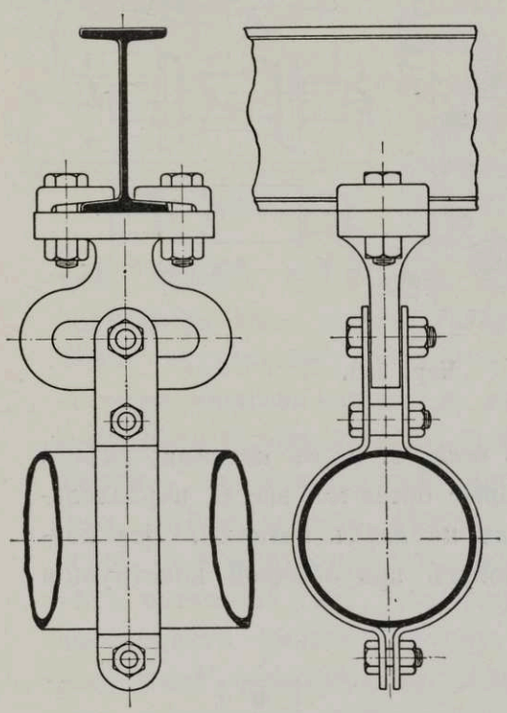


Чер. 343.

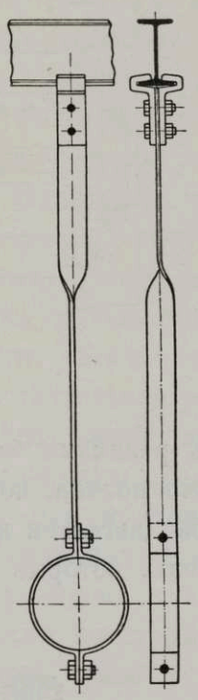
препятствій свободному расширенію, достигается, какъ видно изъ приведенныхъ здѣсь примѣровъ, двумя путями: или сама опора дѣлается въ какомъ нибудь мѣстѣ удобоподвижной (преимущественно въ направленіи оси трубы) путемъ введенія въ нее ролика, или же глазка, или за счетъ упругой деформаціи самой опоры и т. п., или же

опора дѣлается жесткой, а сама труба кладется на ролики. Примѣры подвижности по первому способу мы видимъ на чер. 342, 343—348, а примѣры устройства роликовъ—на чер. 339, I, 340, 349, и на чер. 350, гдѣ показаны ролики для 15-дюймовыхъ паропроводныхъ трубъ писчебумажной фабрики the Great Northern Paper Company, въ г. Millinocket, въ Америкѣ.

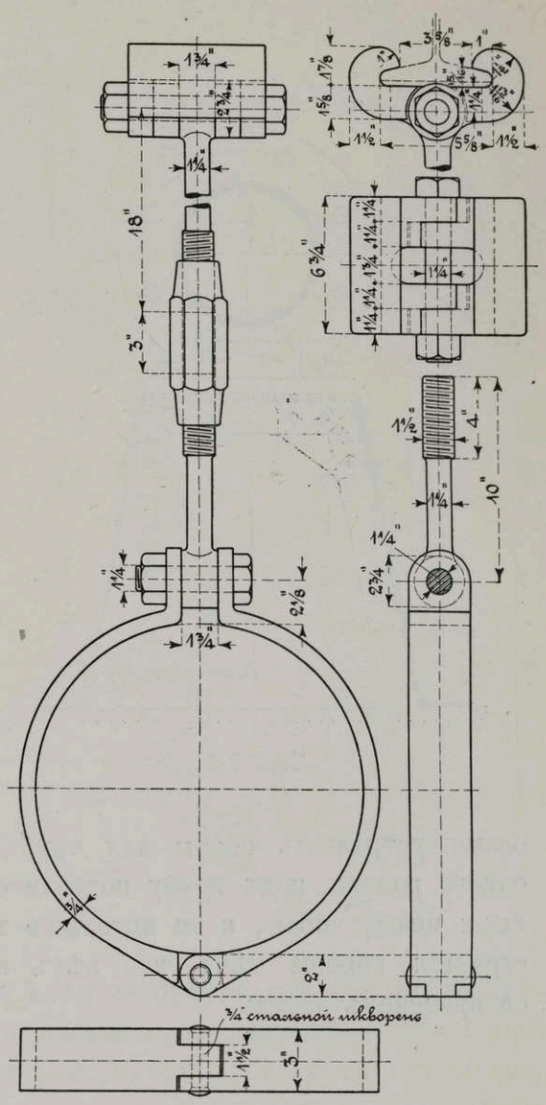
При устройствѣ роликовъ, вообще, удобно имѣть возможность устанавливать ролики точно въ требуемомъ положеніи, для чего слѣдуетъ давать имъ нѣкоторую подвижность во всѣхъ направленіяхъ, для точной установки;



Чер. 344.



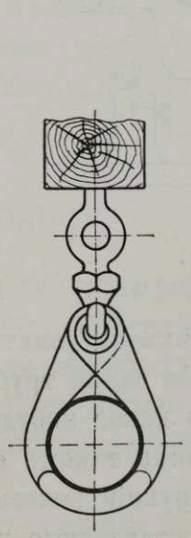
Чер. 345.



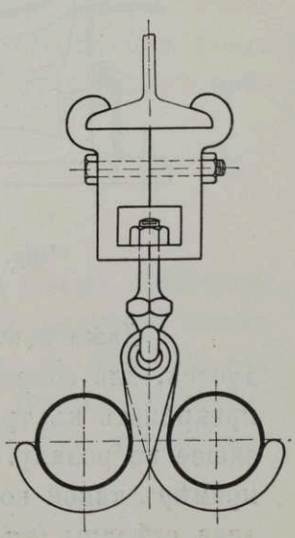
Чер. 346.

это можетъ быть достигнуто посредствомъ клиньевъ и продолговатыхъ дыръ для болтовъ.

При устройствѣ такихъ опоръ, гдѣ труба скользитъ по роликамъ, весьма важно устроить такъ, чтобы труба могла быть покрыта слоемъ изолирующей отъ потери теплоты массы и въ то же время могла бы двигаться по ролику не повреждая этой массы. Для этой цѣли въ настоящее время устраиваютъ подъ трубою особое сѣдло, чер. 351, такъ что лишь это сѣдло выдается изъ изолирующаго слоя и движется по ролику. При этомъ вся эта часть трубы вмѣстѣ съ роликомъ весьма удобно можетъ быть покрыта футляромъ изъ листового металла, какъ видно на чертежѣ 351, и обмѣнъ воздуха между внутренностію футляра и наружнымъ пространствомъ будетъ пресѣченъ. Конструкцій такого рода тоже можетъ быть нѣсколько; кромѣ показаннаго на чер. 351 образца фирмы Зейффертъ съ коноидальнымъ роликомъ, привожу еще на чер. 352 образецъ подобной же конструкціи, но съ цилиндрическимъ роликомъ; *детальные* раз-



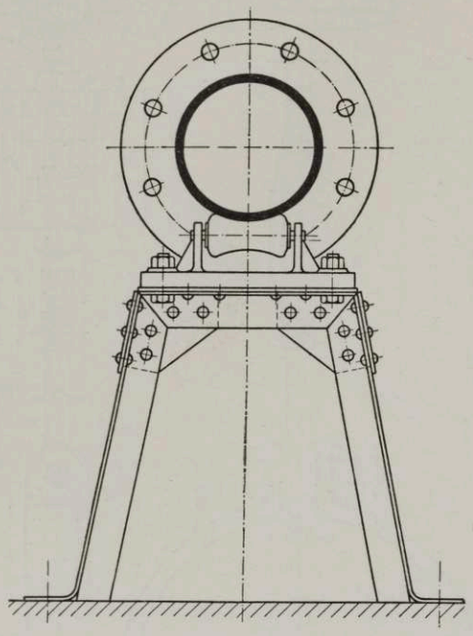
Чер. 347.



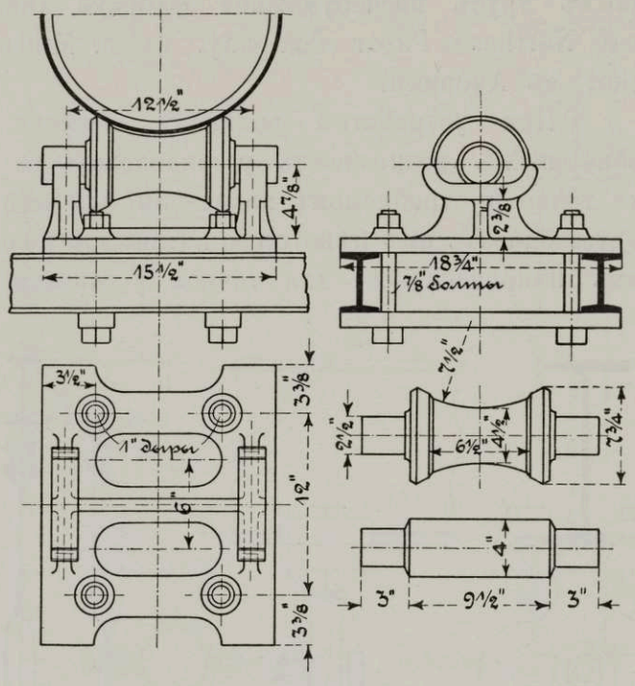
Чер. 348.

мѣры такихъ роликовыхъ опоръ имѣются въ цитированномъ ранѣе сочиненіи „Rohrleitungen“ фирмы „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“, стр. 95 каталога.

Въ самое послѣднее время эта фирма начала вмѣсто обычныхъ роликовъ съ

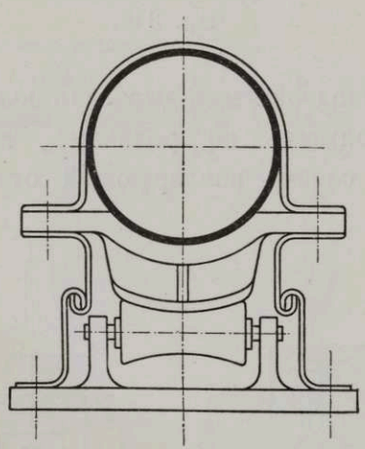


Чер. 349.

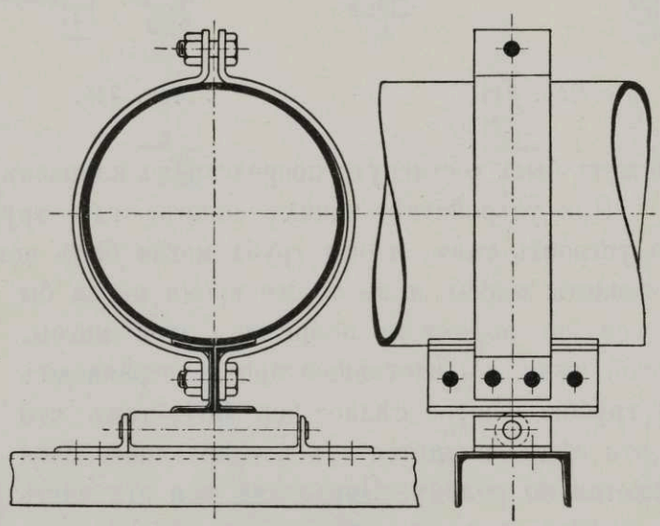


Чер. 350.

осями устраивать опоры для трубъ съ роликами *безъ осей*, т. е. съ катками; вмѣсто одного ролика, подъ трубу подводится *два* ролика, которые остаются всегда параллельными между собою, и на которыхъ труба двигается какъ на двухъ каткахъ. Эта конструкція хороша тѣмъ, что нѣтъ шиповъ, которые могутъ при обычной конструкціи со временемъ заѣсть.



Чер. 351.

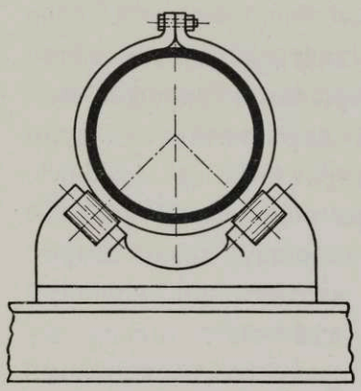


Чер. 352.

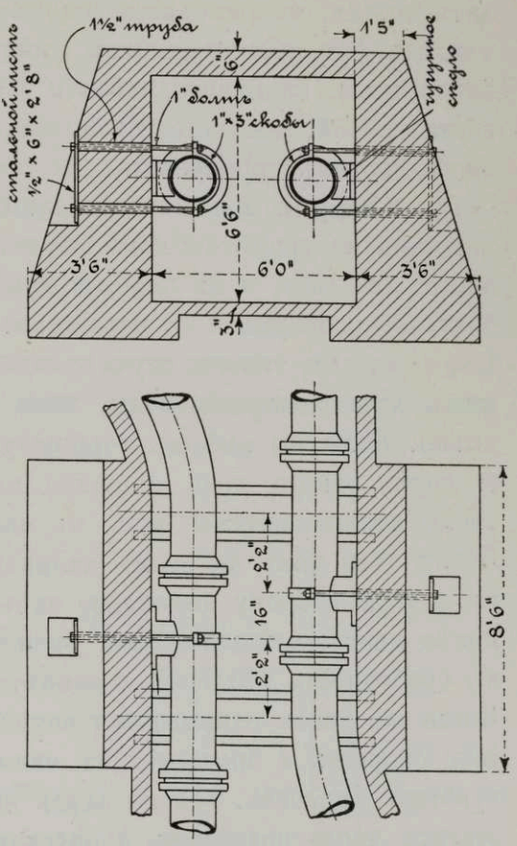
Даже и въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ труба не покрыта изоляціей, очень рекомендуется, для сохраненія самой трубы, не класть ее непосредственно на роликъ, а тоже прикрѣпить къ трубѣ какое нибудь сѣдло, составляющее съ ней одно цѣлое и скользящее по ролику. Иногда такимъ сѣдломъ является простой хомутъ, надѣтый на трубу; примѣръ такой конструкціи показанъ на чер. 353, гдѣ, кромѣ того, вмѣсто одного ролика сдѣланы *два*, поставленные подъ угломъ 90°; эта конструкція рекомендуется нѣкоторыми инженерами, какъ дающая трубѣ лучшую опору, нежели одинъ роликъ.

На чер. 354 показано еще устройство неподвижныхъ точекъ для паропроводныхъ трубъ упомянутаго выше паропровода фабрики въ Миллинокетѣ, идущаго въ бетонномъ туннелѣ.

Въ заключеніе, необходимо относительно горизонтальныхъ трубъ сдѣлать то же замѣчаніе, которое было ранѣе сдѣлано относительно вертикальныхъ, относящееся къ распредѣленію вѣса трубъ на опоры. Именно, если мы имѣемъ одну или нѣсколько магистральныхъ трубъ, къ которымъ, въ разныхъ мѣстахъ, присоединены горизонтальныя (или наклонныя) боковыя трубы, и вся эта система поддержана извѣстнымъ числомъ опоръ, то необходимо помнить, что вопросъ о томъ—„какъ распредѣлится вѣсъ трубъ, главныхъ и боковыхъ, между отдѣльными опорами“—есть задача *статически неопредѣленная*, и дѣйствительное распредѣленіе будетъ зависѣть отъ деформацій всей системы, представляющей многоопорную балку (или, лучше сказать, сѣтку), и отъ положенія опоръ въ моментъ окончательной сборки, т. е. отъ тѣхъ натяженій тягъ, установки роликовъ и т. п., которые будутъ сдѣланы въ послѣдній моментъ сборки. Поэтому, какъ конструкторъ долженъ, при проектированіи опоръ для такой сложной сѣти, обдумать, какъ у него распредѣлятся нагрузки на опоры, такъ и монтеръ долженъ имѣть въ виду, что всѣ окончательныя положенія опоръ нужно фиксировать такъ, чтобы на каждую опору пришлось (приблизительно, конечно) столько, сколько и полагалось при расчетѣ.



Чер. 353.



Чер. 354.

Для того, чтобы достигнуть этого на практикѣ, иногда прибѣгаютъ къ опытному установленію давленія на опору или на мѣсто соединенія, подвѣшивая, напримѣръ, боковыя отвѣтвленія, примыкающія къ главной трубѣ, на канатахъ, и уравновѣшивая часть вѣса трубы, которая должна быть передана на опору или на мѣсто скрѣпленія съ другою трубою, грузомъ; когда боковая труба установится при этомъ въ извѣстномъ положеніи, то до этой высоты подводятъ главную трубу и затѣмъ крѣпятъ ея опору въ такомъ положеніи.

Вибраціи паропроводовъ.

§ 131. При работѣ паровыхъ установокъ часто наблюдается весьма непріятное явленіе, именно, *вибраціи* или *дрожанія* паропроводовъ. Эти вибраціи являются весьма непріятными и даже разрушительными не только для самихъ трубъ, но даже и для тѣхъ частей сооруженій (стѣнъ, потолковъ и т. п.), съ которыми трубы соединены. Поэтому необходимо знать причины такихъ вибрацій и *средства* къ ихъ устраненію, если вибраціи, къ несчастію, появятся.

Вибраціи паропроводовъ могутъ зависѣть отъ двухъ причинъ.

Вопервыхъ, трубамъ могутъ передаваться вибраціи самой паровой машины, вызываемыя въ этой послѣдней силами инерціи движущихся частей. Въ такомъ случаѣ

сами трубы нисколько не повинны въ вибраціяхъ и эти послѣднія должны быть устранены въ самомъ своемъ корнѣ, т. е. подвижныя части машины должны быть по возможности совершенно балансированы или уравновѣшены. Если же этого сдѣлать нельзя, и приходится мириться съ существующей машиной, то можно попробовать усилить фундаментъ машины, поставить разумно расположенныя тяги у паровыхъ цилиндровъ и, наконецъ, сдѣлать ближайшую къ машинѣ часть паропровода по возможности гибкой, для того, чтобы задержать передачу вибрацій отъ машины къ дальнѣйшимъ частямъ паропровода.

Второй причиною вибрацій паропровода могутъ нерѣдко явиться условія теченія пара по трубѣ въ томъ случаѣ, если паръ подводится къ поршневой паровой машинѣ, или даже и къ паровой турбинѣ, но къ такой, у которой паръ течетъ въ турбину не непрерывно, а періодами, какъ это имѣетъ мѣсто, напримѣръ, въ турбинѣ Парсонса. Въ такомъ случаѣ паръ, идущій изъ котла, благодаря непрерывно продолжающемуся испаренію воды, тоже непрерывно, не входитъ въ машину тоже непрерывно. Еслы мы имѣемъ поршневую паровую машину, то паръ входитъ въ машину, за время одного хода поршня (предполагая машину двойного дѣйствія), только во время періода впуска пара въ малый цилиндръ машины многократнаго расширенія. Послѣ того какъ въ этомъ цилиндрѣ произойдетъ отсѣчка пара и до начала впуска въ другую сторону цилиндра, паръ въ машину не идетъ, а изъ котла онъ тѣмъ не менѣе идетъ; слѣдовательно, происходитъ постепенная остановка въ движеніи пара, и въ особенности тѣхъ его частицъ, которыя расположены ближе къ паровой машинѣ. Когда же вновь открывается впускъ пара въ машину, то паръ долженъ вновь пріобрѣтать скорость и бросается въ машину порывисто. Совершенно то же происходитъ и въ турбинѣ Парсонса, только здѣсь число періодовъ остановки и бросанія пара соотвѣтствуетъ число подъемовъ и опусканій регулирующаго впускъ пара клапана. Существованіе этихъ вибрацій струи пара очень легко обнаружить, поставивъ на паропроводѣ манометръ или индикаторъ; нерѣдко такимъ образомъ наблюдаются колебанія давленія болѣе чѣмъ на полъ-атмосферы.

Вотъ эти то періодическія, правильно повторяющіяся измѣненія скорости массы пара, наполняющей трубу, и являются весьма часто причинами вибрацій какъ этой колонны пара, такъ и окружающаго ее металлическаго футляра, паропровода, и вибраціи эти будутъ весьма сильными въ томъ случаѣ, если естественное число свободныхъ колебаній системы трубъ, разсматриваемыхъ какъ музыкальная струна, совпадаетъ или близко съ числомъ оборотовъ машины въ то же время, или съ числомъ подъемовъ клапана въ паровой турбинѣ *.

Вибраціи эти съ особенною силою проявляются въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ трубопроводъ измѣняетъ свое направленіе, гдѣ имѣется *колѣно*; здѣсь сила реакціи движущейся съ перемѣнною скоростію струи пара особенно рѣзко проявляетъ свое дѣйствіе.

Попытка — прекратить этого рода вибраціи посредствомъ притягиванія трубъ къ стѣнамъ, колоннамъ и пр., въ дополненіе къ имѣющимся уже у трубъ нормальнымъ опорамъ, обыкновенно не ведетъ къ желаемой цѣли и только способствуетъ дальнѣйшему распространенію вибрацій. Для того, чтобы уменьшить вибраціи или даже совершенно пресѣчь ихъ въ самомъ корнѣ, имѣется весьма простое средство, которое, однако, и до сихъ поръ сравнительно рѣдко примѣняется, хотя на него въ послѣднее время указываютъ многіе выдающіеся инженеры и конструкторы.

Средство это весьма просто и состоитъ въ томъ, чтобы *устроить непосредственно передъ входомъ пара въ машину резервуаръ по возможности большого объема*, въ которомъ скорость пара, въ періоды теченія въ машину, будетъ значительно меньше, нежели въ трубѣ, и въ который будетъ все таки течь паръ и въ то время, когда въ

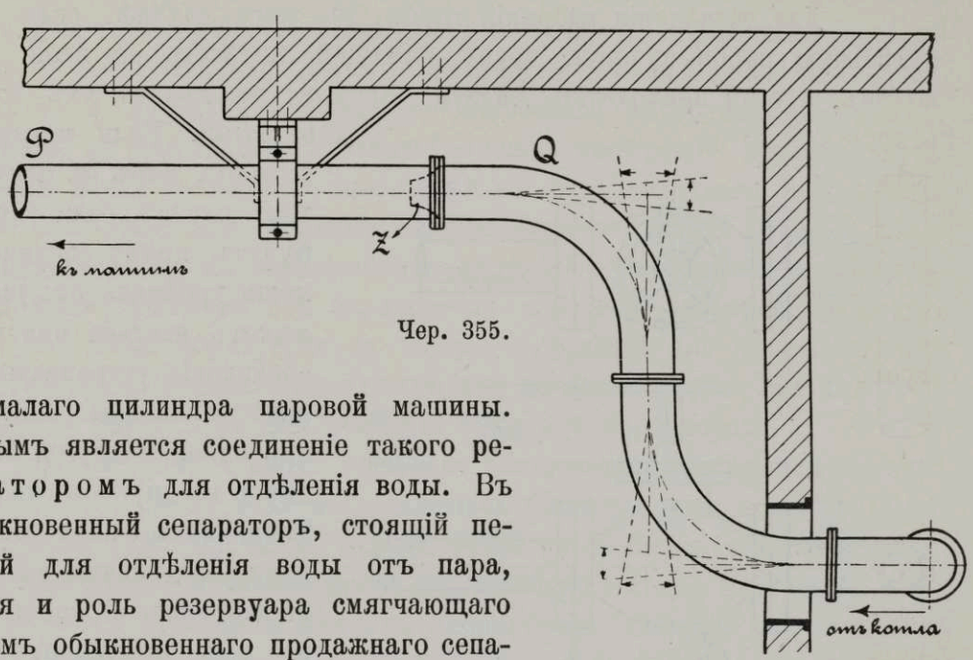
---

* или будетъ кратнымъ съ нимъ.

машинѣ произошла отсѣчка пара. Благодаря этому, въ особенности если труба, ведущая изъ резервуара въ машину, сдѣлана большого діаметра, вибраціи струи пара будутъ происходить только почти исключительно между машиной и резервуаромъ, и не будутъ проникать за резервуаръ, во весь остальной паропроводъ.

Надобно сказать, впрочемъ, что такіе резервуары не новость. Въ старыхъ пароходныхъ машинахъ, гдѣ число оборотовъ было мало, а цилиндры машинъ огромные, т. е. имѣлись всѣ благопріятныя условія для появленія особенно сильныхъ вибрацій пара, которыя проникали даже въ котелъ и причиняли тамъ вскипаніе воды, большіе паросборные резервуары давно уже примѣнялись какъ средство для устраненія нежелательнаго явленія вибрацій. Только ранѣе они ставились надъ котломъ, теперь же ставятъ ихъ ближе къ машинѣ, что̀ гораздо дѣйствительнѣе.

Для того, чтобы резервуаръ оказалъ замѣтное вліяніе на ослабленіе вибрацій, объемъ его не долженъ быть менѣе трехъ объемовъ малаго цилиндра (цилиндра высокаго давленія) машины многократнаго расширенія. Если же трубопроводъ длинный, имѣетъ много колѣнъ и свободно положенъ на опоры для безпрепятственнаго расширенія, то для того, чтобы устранить вибраціи, необходимо сдѣлать объемъ резервуара по крайней мѣрѣ въ *пятнадцать* разъ больше объема малаго цилиндра паровой машины.



Чер. 355.

Весьма удобнымъ является соединеніе такого резервуара съ сепараторомъ для отдѣленія воды. Въ сущности, всякій обыкновенный сепараторъ, стоящій передъ паровой машиной для отдѣленія воды отъ пара, играетъ въ тоже время и роль резервуара смягчающаго вибраціи. Только объемъ обыкновеннаго продажнаго сепаратора бываетъ слишкомъ малъ для того, чтобы такой сепараторъ игралъ бы дѣйствительно и роль резервуара; но въ настоящее время часто конструируютъ спеціальные сепараторы большого объема, играющіе и роль надежно дѣйствующихъ резервуаровъ. Нѣсколько примѣровъ такихъ резервуаровъ-сепараторовъ описано ниже, въ параграфѣ объ отведеніи конденсаціонной воды (стр. 476).

Вибраціи паропроводовъ отъ прерывистаго движенія пара въ особенности легко могутъ проявиться на электрическихъ станціяхъ въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ имѣется параллельное соединеніе нѣсколькихъ машинъ или турбинъ, и гдѣ ходъ ихъ такъ выровненъ, что періоды впусковъ и отсѣчекъ всѣхъ машинъ вполнѣ совпадаютъ, что̀ ведетъ къ усиленнымъ вибраціямъ.

Взятый изъ практики примѣръ вибрацій паропровода представленъ на чер. 355. Въ этомъ примѣрѣ реакція струи пара на колѣна вызывала сильныя движенія послѣднихъ; оси колѣнъ принимали положенія, представленныя (въ преувеличенномъ, конечно, видѣ) на чертежѣ пунктиромъ. Здѣсь никакія тяги и закрѣпленія не помогутъ. Лучшимъ средствомъ для устраненія вибрацій является вставка въ трубу сходящагося коническаго сопла Z, у котораго наименьшая площадь поперечнаго сѣченія, въ самомъ узкомъ мѣстѣ, составляетъ около четверти площади самой трубы (точная площадь лучше всего опредѣляется опытомъ). Такое сопло причинитъ лишь незначительное измѣненіе давленія пара, но за то вибраціи, начинаясь отъ мѣста входа пара въ машину, не будутъ въ состояніи перейти черезъ сопло далѣе, какъ бы задержатся въ немъ, и теченіе пара

Моск. Инж.-Механ. Ин-т
БИБЛИОТЕКА

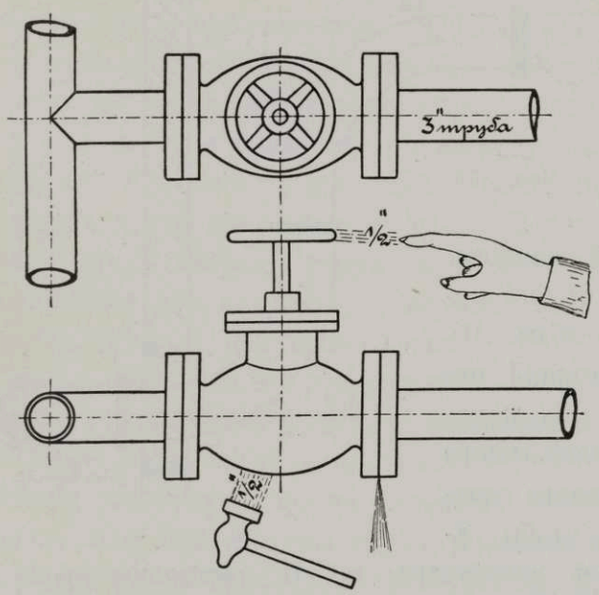
черезъ сопло будетъ не прерывистымъ, а гораздо болѣе равномѣрнымъ. Въ помощь соплу можно еще поставить тяги и т. п. для задержанія движенія части трубопровода PQ вслѣдствіе продольныхъ толчковъ у сопла Z.

Нѣсколько особенныя вибраціи могутъ еще проявиться и въ пароотводныхъ трубахъ, уводящихъ изъ машины мятый паръ и о нихъ тоже скажемъ два слова.

Въ машинахъ съ холодильникомъ въ настоящее время, въ особенности при паровыхъ турбинахъ и машинахъ Штумпфа, холодильникъ ставится настолько близко къ машинѣ, что о вибраціяхъ трубъ между нимъ и машиной вслѣдствіе непостоянства теченія пара обыкновенно не можетъ быть и рѣчи. Въ машинахъ же съ выпускомъ пара въ атмосферу иногда наблюдаются весьма сильныя вибраціи. Здѣсь, вслѣдствіе пульсацій струи пара, появляются какъ колебанія самихъ трубъ, такъ и вибраціи окружающаго воздуха, производя извѣстный всѣмъ непріятный шумъ и пыханіе.

Для смягченія вибрацій окружающаго воздуха иногда является очень полезнымъ увеличить предвареніе выпуска пара изъ цилиндра низкаго давленія и сдѣлать болѣе позднее сжатіе пара, для того, чтобы по возможности продолжить періодъ выпуска пара.

Для ослабленія вибрацій трубъ, въ томъ случаѣ, если машина имѣетъ свою отдѣльную паровыпускную трубу, слѣдуетъ избѣгать на этой послѣдней загибовъ и колѣнъ, а если приходится дѣлать таковыя, то дѣлать ихъ возможно плавными, не крутыми. Если нѣсколько машинъ выбрасываютъ паръ въ одну общую трубу, то въ томъ случаѣ, если трубы отъ двухъ машинъ будутъ прямо соединены въ одну при помощи тройника обычной формы, эта деталь можетъ явиться причиною вибрацій; лучше соединеніе устраивать въ видѣ буквы Y, въ видѣ развилины, такъ чтобы выпуски пара изъ одной и другой машины не били прямо другъ въ друга, а сходились бы подъ угломъ. Точно также является нехорошимъ—присоединять отдѣльныя выпускныя трубы къ одной общей, главной, просто подъ прямымъ угломъ; это тоже причиняетъ поперечныя вибраціи и слѣдуетъ трубы подводить подъ угломъ, лучше по кривой линіи, и дѣлать радіусы закругленій возможно больше. Такую выпускную магистраль слѣдуетъ дѣлать въ діаметрѣ побольше, а при переходѣ ея въ послѣднюю, вертикальную часть, ведущую уже въ воздухъ, опять уменьшать ея поперечное сѣченіе.



Чер. 356.

Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ мятый паръ употребляется для цѣлей нагрѣванія, можетъ случиться, что площадь для прохода пара сквозь нагрѣватели будетъ мала, и трубы будутъ узки и имѣютъ много крутыхъ перегибовъ. Въ этомъ случаѣ вибраціи неизбѣжны. Здѣсь можетъ оказаться полезнымъ, для ослабленія ихъ, закрѣпить трубы въ надлежащихъ точкахъ добавочными опорами, такъ однако, чтобы не нарушить свободы расширенія.

Къ числу „вибрацій“, хотя и совершенно особаго рода, можно отнести электрическіе удары, которые время отъ времени наблюдаются при паровыхъ котлахъ и паропроводныхъ трубахъ, и происходятъ вслѣдствіе тренія вытекающаго пара. Объ этомъ упоминается и въ курсахъ физики (машина Армстронга). Три такихъ интересныхъ случая привожу здѣсь.

1-й случай). Монтеръ на одной фабрикѣ въ Англіи былъ посланъ для того, чтобы поправить стыкъ паропроводной трубы, который сильно пропускалъ. Положивши руку на маховичекъ вентиля онъ почувствовалъ легкій электрическій ударъ; коснувшись

же тѣла вентиля молоткомъ и отодвинувъ потомъ его на $^1/_2$ дюйма, онъ почувствовалъ уже замѣтный потокъ искръ: изъ маховичка на разстояніи полъ-дюйма тоже извлекались пальцемъ сильныя искры (чер. 356). Монтеръ стоялъ на лѣстницѣ.

Давленіе пара было 78 фунтовъ, паръ былъ очень сухой.

2-й случай). Рабочій, стоявшій на жирной, грязной доскѣ, извлекалъ изъ текущаго стыка трубъ искры до двухъ дюймовъ длиною; въ стыкъ, для уменьшенія течи, были передъ этимъ загнаны деревянные клинушки, что̀, вѣроятно, способствовало электризаціи.

3-й случай). При истеченіи мокраго пара изъ стыка трубъ извлекались, не смотря на это, искры до *трехъ* дюймовъ длиною.

Отдѣленіе конденсаціонной воды и отводъ ея.

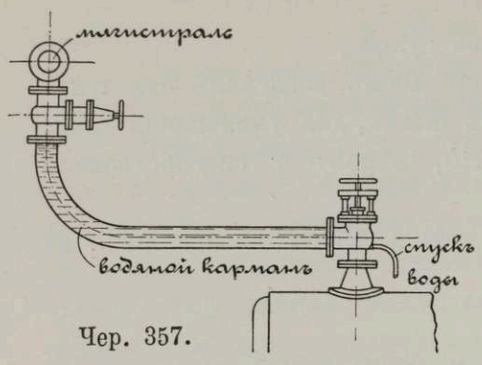
§ 132. Вслѣдствіе ухода части теплоты черезъ стѣнки паропровода, въ этомъ послѣднемъ всегда образуется нѣкоторое количество конденсаціонной воды. Какъ уже сказано ранѣе, количество образующейся такимъ образомъ воды желательно свести къ возможному минимуму, для того, чтобы менѣе терялось теплоты, образованіе которой стоило денегъ. Но кромѣ чисто тепловой потери, присутствіе въ паропроводѣ конденсаціонной воды непріятно и по соображеніямъ механическаго характера. Вопервыхъ, если воды скопится много, то она будетъ стѣснять площадь свободнаго сѣченія трубы и препятствовать теченію пара; вовторыхъ, при пускѣ въ ходъ холоднаго паропровода можетъ произойти уже извѣстное намъ опасное явленіе *водянаго удара*. Такимъ образомъ, необходимо принимать мѣры къ возможному уменьшенію количества образующейся воды, и къ надежному *удаленію* изъ паропровода той воды, которая, не смотря на всѣ наши старанія, все таки образуется въ немъ. О средствѣ для уменьшенія количества образующейся воды, именно объ одеждѣ или изоляціи трубъ, мы уже говорили; теперь поговоримъ о средствахъ для *удаленія* воды изъ паропровода.

Для удаленія воды изъ паропровода возможно пользоваться естественными, такъ сказать, средствами для того, чтобы вода не отдѣлялась бы отъ пара и не застаивалась бы въ паропроводѣ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ мы этого не желаемъ, и затѣмъ искусственными средствами для того, чтобы заставить эту летящую вмѣстѣ съ паромъ воду отдѣляться отъ пара въ тѣхъ немногихъ мѣстахъ паропровода, гдѣ мы это находимъ удобнымъ, и въ этихъ мѣстахъ уводить періодически, или, еще лучше, непрерывно и *автоматически* воду прочь изъ трубы. Такая система скопленія и отвода воды должна быть признана **наиболѣе правильной** и она осуществляется въ настоящее время во всѣхъ раціонально устроенныхъ паропроводахъ. Обычная же въ прежнее время система, когда трубы проводили какъ попало, и въ сотняхъ мѣстъ, гдѣ ожидали скопленія воды, ставили спускные или продувные краны, которые „приказывалось“ машинистамъ и кочегарамъ открывать *„во время“*, служила причиной многихъ сотенъ водяныхъ ударовъ, какъ объ этомъ сказано ранѣе, и должна быть оставлена, какъ нераціональная и опасная.

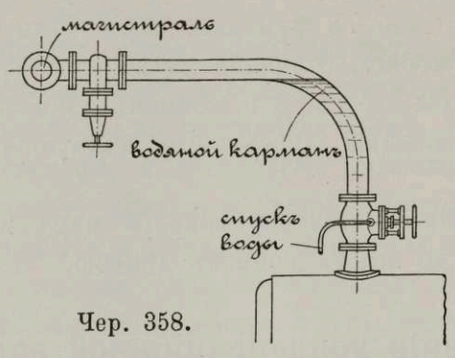
Отсутствіе застаиванія воды въ трубахъ достигается путемъ приданія трубамъ легкаго уклона въ сторону теченія пара (если сами трубы по условіямъ мѣстности не имѣютъ такового), скопленіе воды въ извѣстныхъ желаемыхъ нами мѣстахъ достигается путемъ устройства особыхъ приборовъ — *сепараторовъ*, а выпускъ скопленной сепараторами воды производится другими аппаратами — **отводчиками** или **конденсаціонными горшками**. Обо всемъ этомъ далѣе скажемъ подробнѣе.

Такимъ образомъ, еще при проектированіи сложной сѣти паропровода, въ особенности, если паръ берется изъ многихъ котловъ и идетъ въ нѣсколько машинъ, необходимо обдумать расположеніе трубъ такимъ образомъ, чтобы вода не застаивалась въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ это опасно для насъ ввиду возможности водяного удара. Укажемъ нѣсколько типичныхъ примѣровъ, часто встрѣчающихся въ практикѣ.

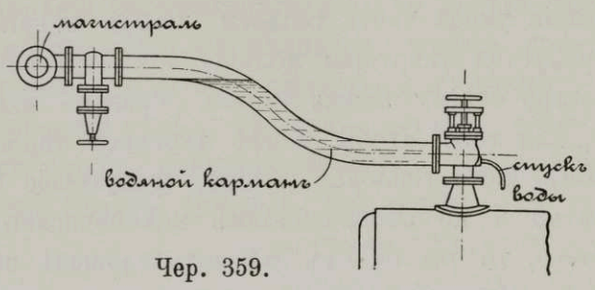
При проведеніи трубъ, соединяющихъ котлы съ главной магистралью, попадаются расположенія по образцамъ чер. 357—360, которыя всѣ четыре должны быть признаны *неправильными*, такъ какъ въ соединительной трубѣ скопляется вода, пока котелъ выключенъ, и затѣмъ, при открытіи вентиля этого котла, паръ идущій изъ магистрали встрѣчаетъ холодную воду и происходитъ водяной ударъ, если машинистъ забудетъ или сочтетъ излишнимъ ранѣе этого открыть дренажный кранъ и хорошенько удалить всю воду.*



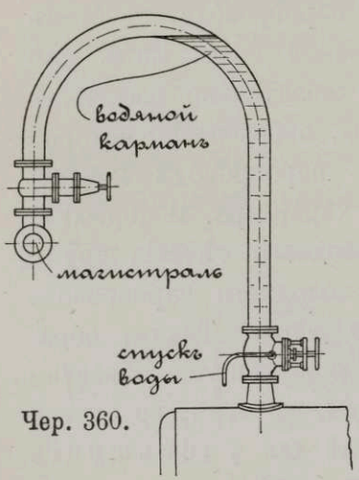
Чер. 357.



Чер. 358.

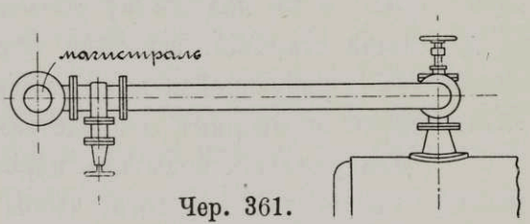


Чер. 359.



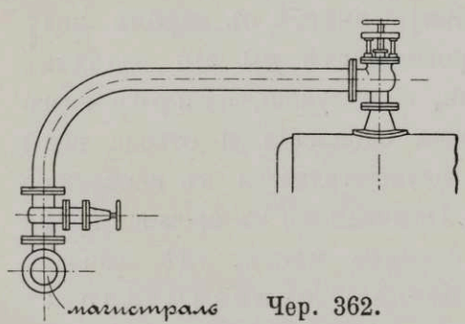
Чер. 360.

Правильнымъ будетъ такое расположеніе соединительной трубы, когда происходитъ е с т е с т в е н н ы й дренажъ воды изъ этой трубы въ магистраль; такія расположенія показаны на чер. 361, 362 и 363.

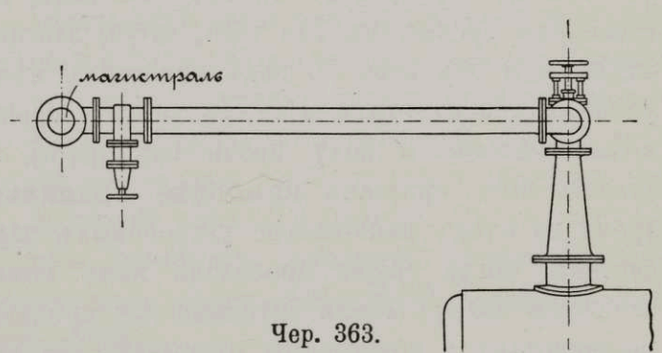


Чер. 361.

Въ самихъ магистраляхъ, въ тѣхъ ихъ частяхъ, которыя идутъ горизонтально, или почти

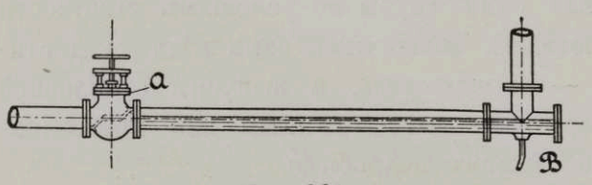


Чер. 362.



Чер. 363.

горизонтально, тоже можетъ скопляться вода, если, напримѣръ, труба оканчивается тупикомъ или загибается вверхъ, какъ на чер. 364. Здѣсь водяной ударъ, при открытіи вентиля *A*, непремѣнно произойдетъ, если даже продувной кранъ *B* будетъ открытъ одновременно съ вентилемъ или позже его, такъ что здѣсь аккуратность машиниста, который не забудетъ открыть кранъ, можетъ, какъ разъ послужить причиной бо́льшаго несчастія, чѣмъ если бы онъ его вовсе не открывалъ. Такихъ случаевъ извѣстно тоже очень много.

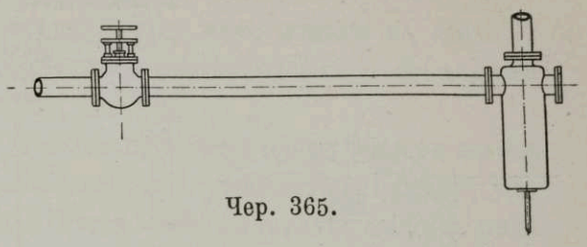


Чер. 364.

---

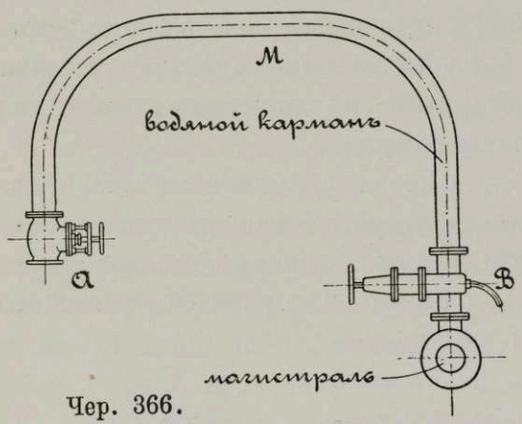
* а иногда, именно отъ открытія дренажнаго крана тоже происходитъ водяной ударъ, см. далѣе.

Для избѣжанія подобныхъ случаевъ, какъ уже сказано ранѣе, слѣдуетъ устраивать на горизонтальныхъ трубахъ водяные карманы или мѣшки, какъ на чер. 365, въ которыхъ бы могла собираться конденсаціонная вода, и изъ которыхъ она отводилась бы непрерывно и автоматически при помощи спеціальныхъ аппаратовъ.

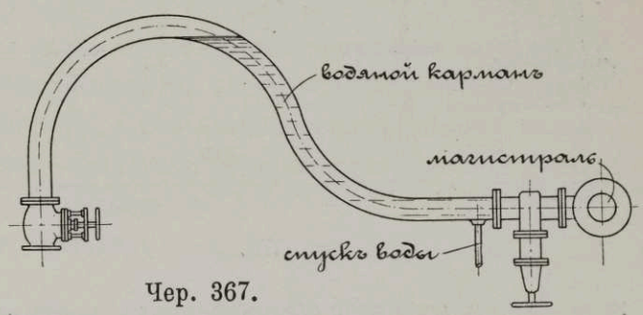


Чер. 365.

Наконецъ, въ мѣстахъ присоединенія къ магистрали паровыхъ машинъ (или турбинъ и т. п.) тоже могутъ быть неправильныя расположенія соединительныхъ трубъ. Такія неправильныя расположенія показаны на чер. 366—367, и если ихъ приходится почему либо допускать, то необходимо устраивать дренажные



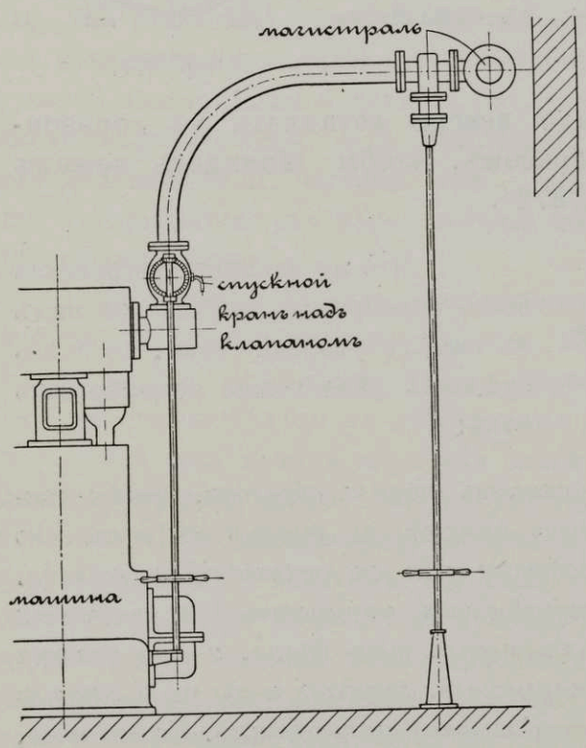
Чер. 366.



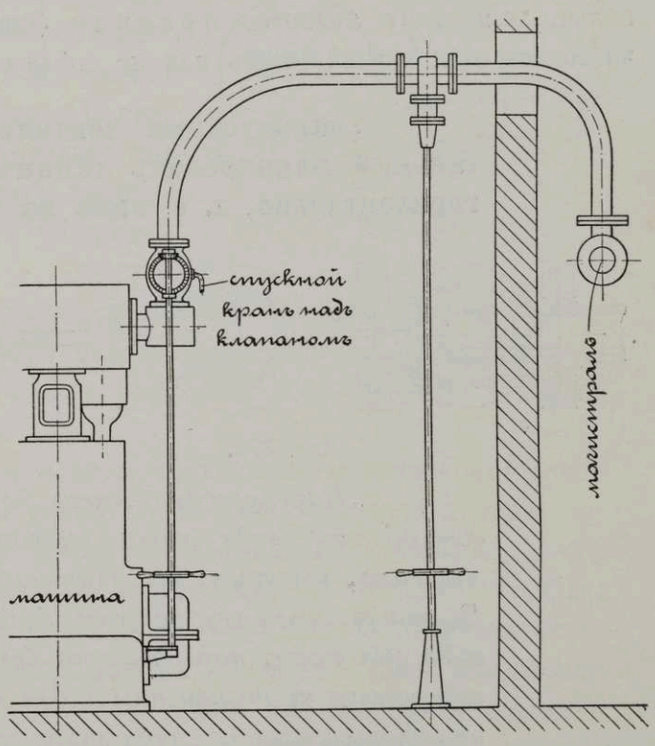
Чер. 367.

краны въ самомъ низкомъ мѣстѣ, и не забывать открывать ихъ *передъ* пускомъ пара въ трубу.

Правильныя расположенія трубъ показаны на чер. 368—369, для случая, когда



Чер. 368.

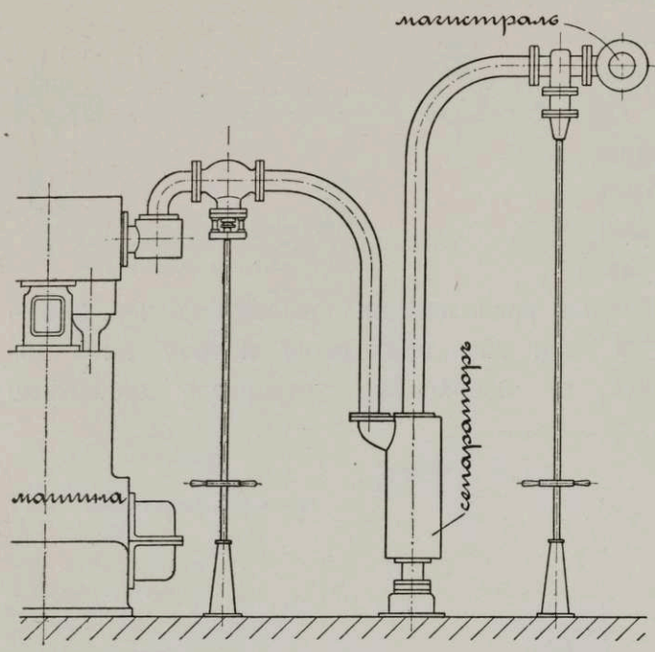


Чер. 369.

передъ машиною не ставится сепараторъ для отдѣленія воды. Если же ставится сепараторъ, то трубы должны быть расположены такъ, какъ на чер. 370.

Для ясности укажемъ, что расположенія чер. 366 и 367 отличаются отъ расположеній чер. 368 и 369 тѣмъ, что въ первыхъ двухъ дренажный кранъ помѣщенъ надъ вентилемъ, стоящимъ возлѣ магистраля, и, если этотъ вентиль нѣсколько про-

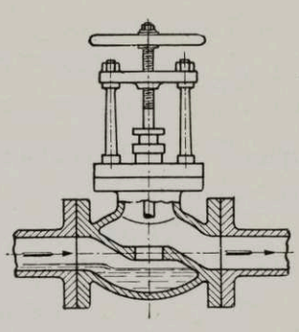
пускаетъ паръ, то этотъ послѣдній будетъ наполнять соединительную трубу и, превращаясь въ воду, скопляться и надъ машиннымъ паропускнымъ вентилемъ (т. е., на чер. 366, по *обѣ* стороны средней, горизонтальной части *M*, надъ вентилями *A* и *B*, такъ что образуются два водяныхъ кармана; лѣвый карманъ на чер. 366 и 367 не показанъ), и удалить эту воду мы никакъ не можемъ, развѣ пустивши ее въ машину, которую она способна переломать; въ случаяхъ же, показанныхъ на чер. 368 и 369, дренажный кранъ помѣщенъ надъ машиннымъ вентилемъ и вода можетъ быть передъ пускомъ въ ходъ машины спущена.



Чер. 370.

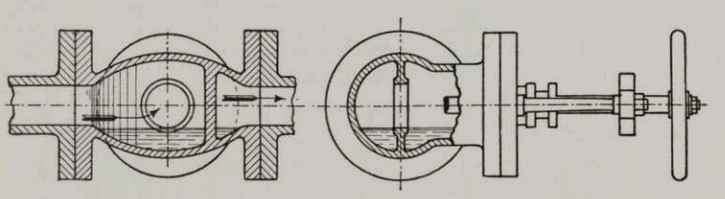
При расположеніи чер. 370 вода изъ сепаратора, конечно, должна отводиться автоматическимъ отводчикомъ.

Самые паропускные вентили, если они выполнены не въ видѣ заслонки, а въ видѣ обыкновеннаго вентиля съ подъемнымъ клапаномъ, какъ на чер. 249 и 263, могутъ явиться мѣстомъ для задержки и скопленія конденсаціонной воды; именно, такая задержка воды произойдетъ, если вентиль будетъ вставленъ въ паропроводъ такъ, какъ на чер. 371 т. е. шпинделемъ своимъ вертикально, и поэтому является правило (которое, къ сожалѣнію, часто остается неизвѣстнымъ или не соблюдается):



Чер. 371.

„паропускные вентили надо всегда вставлять въ горизонтальный паропроводъ такимъ образомъ, чтобы шпиндель лежалъ горизонтально, т. е. какъ на чер. 372“.



Чер. 372.

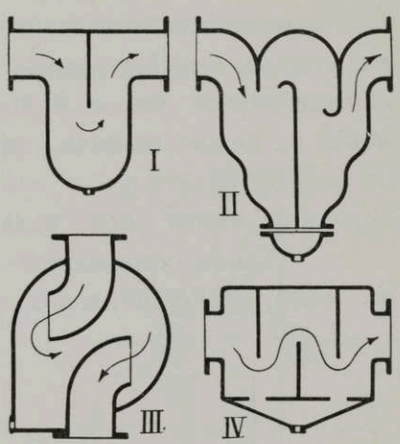
Что же касается устройства всего паропровода и ухода за нимъ въ смыслѣ удаленія воды, то здѣсь сущность дѣла можно резюмировать такъ:

„Паропроводъ долженъ быть устроенъ такимъ образомъ, чтобы конденсаціонная вода могла свободно течь вмѣстѣ съ паромъ къ немногимъ мѣстамъ, которыя мы считаемъ удобными для ея отдѣленія и отвода. Въ этихъ мѣстахъ должны быть установлены аппараты для отдѣленія воды отъ пара; паръ долженъ безпрепятственно течь далѣе, а вода должна собираться въ назначенныхъ для нея карманахъ, сосудахъ и т. п. и затѣмъ отводиться изъ нихъ автоматически спеціальными аппаратами. Кромѣ того, тамъ, гдѣ этого требуютъ обстоятельства, должны быть устроены ручные спускные или продувные краны, которые должны быть непремѣнно открываемы ***раньше****, нежели въ трубу будетъ пущенъ паръ, и которые позволяютъ всей водѣ стечь вонъ. Никоимъ образомъ не слѣдуетъ пускать паръ въ трубы, въ которыхъ содержится вода;* ***паръ можетъ быть пущенъ только тогда, когда вся вода удалена;*** *дренированіе же трубъ подъ паромъ часто является поводомъ къ ужаснымъ водянымъ ударамъ“.*

Для того, чтобы вода по возможности свободно двигалась по паропроводу вмѣстѣ съ паромъ, труба должна имѣть нѣкоторый **уклонъ** въ сторону движенія пара, такъ, чтобы вѣсъ воды увлекалъ ее въ ту же сторону, куда течетъ самъ паръ. Пробовано было обратное расположеніе (съ цѣлію заставить воду течь назадъ въ котелъ, въ то время какъ паръ идетъ изъ котла) но оно оказалось непригоднымъ и не должно употребляться. Уклонъ дѣлаютъ обыкновенно отъ $^1/_{500}$ до $^1/_{100}$.

Аппараты для отдѣленія воды отъ пара называются **водоотдѣлителями** или *сепараторами* (а иногда, очень неудачно, называютъ ихъ „паросушителями“, что̀ подаетъ поводъ смѣшать ихъ съ перегрѣвателями). Почти всѣ аппараты такого рода основаны на одномъ и томъ же принципѣ—измѣнять **направленіе** теченія текущей по трубѣ смѣси воды и пара. Такъ какъ почти во всѣхъ книгахъ объясняютъ дѣйствіе такихъ аппаратовъ дѣйствіемъ **центробѣжной силы**, то они называются часто „центробѣжными“ сепараторами, но, какъ будетъ сейчасъ объяснено, центробѣжная сила здѣсь совершенно не причемъ!

Работа сепаратора основана на томъ, что заставляютъ текущую по трубѣ смѣсь воды и пара **рѣзко измѣнить свое направленіе**, загнуться на значительный уголъ, или непрерывно загибаться, описывая спираль. Схемы нѣсколькихъ такихъ аппаратовъ показаны на чер. 373, I—IV. Объясненіе дѣйствія сепараторовъ такого рода, которое встрѣчается въ сотняхъ сочиненій, вездѣ основано на дѣйствіи центробѣжной силы и ведется приблизительно такимъ образомъ.



Чер. 373.

«Такъ какъ плотность пара въ (столько то) разъ менѣе плотности воды, то масса нѣкотораго малаго объема пара будетъ въ (столько то) разъ менѣе массы такого же объема воды. Когда смѣсь воды и пара вступитъ на кривую стѣнку сепаратора, то разовьется центробѣжная сила, и, вслѣдствіе разныхъ плотностей, центробѣжная сила объемчика (или „частицы“, „элемента“ и т. д., смотря по вкусу автора) воды будетъ въ (столько то) разъ болѣе, нежели пара. Поэтому, подъ дѣйствіемъ въ (столько то) разъ большей силы, частица воды *„отлетитъ“* въ сторону и „отдѣлится“ отъ пара, который пойдетъ по кривой перегородкѣ далѣе».

На первый взглядъ это объясненіе кажется вполнѣ натуральнымъ и этимъ, вѣроятно, и надо объяснить то, что, не смотря на *полную нелѣпость и невѣрность*, объясненіе это встрѣчается даже у первоклассныхъ писателей по вопросамъ техники. Какъ же обстоитъ дѣло въ дѣйствительности?

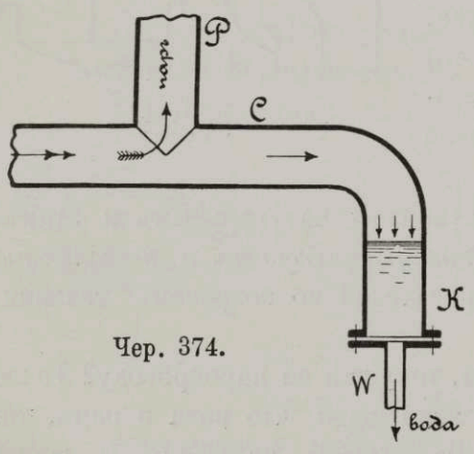
Что̀ есть мокрый паръ или смѣсь пара и воды, текущая по паропроводу? Точно отвѣтить на этотъ вопросъ мы не умѣемъ, но только ясно одно, что вода и паръ, текущіе вмѣстѣ по паропроводу, *ничѣмъ между собою не склеены, не соединены*, кромѣ силъ прилипанія, о величинѣ которыхъ мы судить не можемъ, но которыя, вообще, незначительны. При движеніи по кривому каналу смѣсь эта отклоняется стѣнками сепаратора и, какъ реакція этой отклоняющей силѣ, должна развиться такъ называемая центробѣжная сила, стремящаяся сдвинуть стѣнку съ мѣста или проломить ее, такъ какъ центробѣжная сила есть, по третьему закону Ньютона, противодѣйствіе центростремительной силѣ. Но и паръ и вода одинаково должны дать эту реакцію, если только мы могли бы смѣсь эту считать за однородное тѣло. Но какъ можетъ центробѣжная сила „**отрывать**“ воду отъ пара, когда вода и паръ не склеены и не связаны?— Далѣе, если даже принять центробѣжную силу, то какъ она можетъ отклонять частицу пара *сильнѣе* (?) чѣмъ частицу воды, разъ масса водяной частицы во столько же разъ болѣе массы паровой, во сколько и центробѣжная сила водяной болѣе таковой же паровой? Вѣдь *ускореніе*, сообщаемое при искривленіи пути и водяной и паровой части-

цамъ, **абсолютно одно и то же**, и равно $\frac{v^2}{\varrho}$, гдѣ v — скорость теченія, а ϱ — радіусъ кривизны въ разсматриваемой точкѣ траекторіи. Значитъ, и паръ и вода должны отклоняться *совершенно одинаково*, а никакъ вода не будетъ отлетать „сильнѣе“ пара!

Для того, чтобы еще яснѣе стало бы, въ чемъ дѣло, поставимъ такой вопросъ: „а что̀ будетъ, если, мысленно уменьшая количество пара въ смѣси, мы доведемъ его до нуля?“ По принятіи теоріи сепаратора, съ „центробѣжной силой“, несомнѣннымъ будетъ заключеніе: „вслѣдствіе большей центробѣжной силы *вся* вода должна отлетать въ сторону, и, въ предѣлѣ, когда пара не станетъ, *вся* вода будетъ „отдѣляться“, а по трубопроводу далѣе ничего не потечетъ! Такимъ образомъ, мы приходимъ къ явной нелѣпости, именно, что если по паропроводу (насосомъ или чѣмъ инымъ) начать гнать чистую воду, то она далѣе сепаратора не потечетъ.

Въ чемъ же дѣло? Дѣло въ томъ, что нельзя разсуждать о теченіи *смѣси* пара и воды не задавъ себѣ вопроса —„въ какомъ состояніи находится эта смѣсь и какіе законы приложить къ ея движенію“? Смѣсь состоитъ изъ двухъ тѣлъ разной плотности и передача давленія черезъ такую смѣсь и должна быть разсмотрѣна при изученіи дѣйствія сепаратора. Въ дѣйствительности все обстоитъ гораздо проще и центробѣжную силу тревожить совершенно не зачѣмъ; она здѣсь вовсе не причемъ, да и кривого пути то дѣлать вовсе не нужно; отклонять необходимо *только паръ*, а никакъ не воду и все прекрасное объясненіе съ центробѣжной силой станетъ до очевидности нелѣпымъ, если разсмотримъ сепараторъ въ упрощенномъ видѣ, въ которомъ онъ въ настоящее время уже и строится, такъ какъ кое гдѣ сознали нелѣпость прежняго объясненія и, можно сказать, даже устройства, и въ настоящее время вмѣсто сепараторовъ съ массой завитковъ и поворотовъ, будто бы необходимыхъ (по прежнимъ воззрѣніямъ) для того, чтобы „вся“ вода успѣла отдѣлиться отъ пара, строятъ болѣе простые.

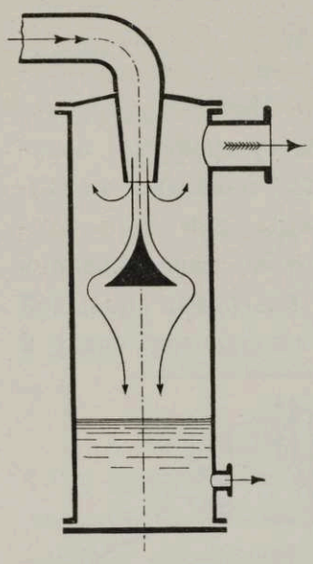
Такое упрощенное устройство представлено на чер. 374. Здѣсь ясно видно, въ чемъ, дѣйствительно, *сущность* работы сепаратора! Воду *совершенно не нужно „отклонять“*; наоборотъ, ей именно надо предоставить полную возможность **продолжать** по инерціи свое **прямолинейное** движеніе, и вся она попадетъ тогда въ „слѣпую кишку“ *C*, изъ которой ей надо дать еще *непремѣнную возможность постоянно* уходить, не подымаясь выше спеціально для нея сдѣланнаго кармана *K*. Въ этомъ и суть дѣла! Вода вовсе не отклоняется въ силу большей плотности, а наоборотъ, идетъ по инерціи впередъ и, забираясь въ карманъ *K*, уходитъ изъ него далѣе. А что же паръ? А паръ, упираясь такъ сказать, въ эту водяную преграду, которую онъ не можетъ прошибить, такъ какъ вода плотнѣе (наоборотъ, вода пронизываетъ его), поневолѣ поворачиваетъ назадъ и ему не остается ничего другого, какъ отклониться и уйти по единственно свободному для него выходу, вверхъ по трубѣ *P* далѣе. Въ концѣ концовъ вся слѣпая кишка наполняется частицами пара, въ ней происходятъ отчасти и пароверотъ, часть пара проникаетъ въ нее и отражается назадъ стѣнками, другая же часть пара отражается отъ массы пара, уже наполнившей слѣпую кишку; частицы же воды, пронизывая, какъ пули, эту массу пара, болѣе теряютъ живой силы при отраженіи отъ стѣнки, да помогаетъ и вѣсъ воды, и потому вода не возвращается назадъ, а падаетъ внизъ, въ карманъ *K*.



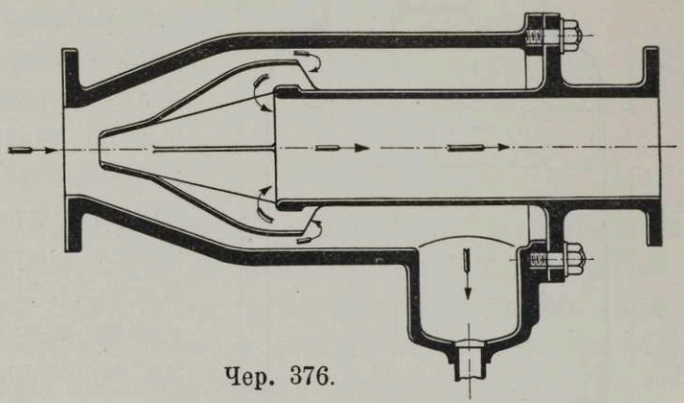
Чер. 374.

Интересно было бы попросить лицъ, объясняющихъ дѣйствіе сепараторовъ центробѣжной силой и даже „вычисляющихъ“ силу отдѣленія, примѣнить ихъ формулы и объясненія къ этому устройству?

Послѣ сказаннаго, дѣлается яснымъ и парадоксъ о томъ, что если, въ предѣлѣ, убавить количество пара до нуля, а погнать одну воду, то она не должна вытекать изъ трубы, который я привелъ выше. Конечно, если пустить одну воду, и уводящая труба *W* достаточно широка, то вся вода и уйдетъ по ней, а вверхъ не пойдетъ, незачѣмъ ей загибаться, такъ какъ она бьетъ прямо въ слѣпую кишку. Но если діаметръ трубы *W* сдѣлать слишкомъ узкимъ или выходъ изъ нея вовсе закрыть, то все тогда наполнится водою и часть воды или и вся вода пойдетъ тогда вверхъ, по единственно свободному выходу, и отъ движенія туда ее тогда никакая центробѣжная сила все равно не удержитъ.

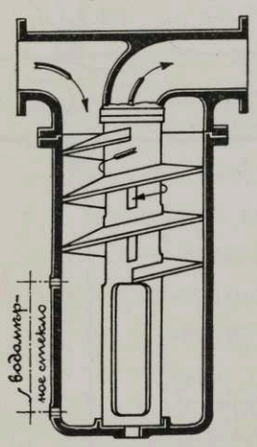


Чер. 375.



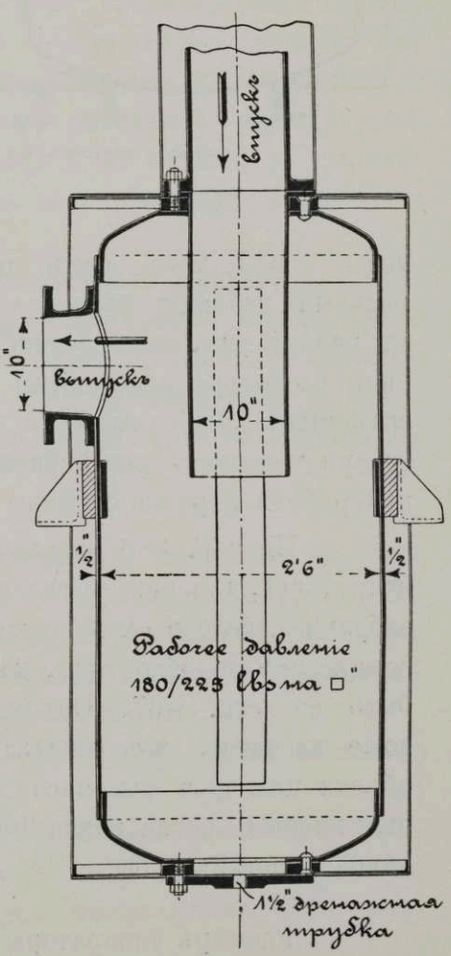
Чер. 376.

Изложенное здѣсь стало находить себѣ примѣненіе въ послѣдніе годы, какъ уже сказано. Нѣкоторые разумные конструкторы вполнѣ справедливо указываютъ, что совершенно излишнее — дѣлать сепараторы съ цѣлой массой плоскихъ или винтовыхъ заворотовъ, какъ на чер. 377 и въ настоящее время есть хорошіе сепараторы, представляющіе изъ себя по сути дѣла именно схему чер. 374. Такіе сепараторы строятъ, между прочимъ, и Нѣмецкія фирмы Ф. Зейффертъ и „Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen“. Хорошіе примѣры подобныхъ сепараторовъ Англійской конструкціи инженера McGregor представлены далѣе, на чер. 378—380.



Чер. 377.

Системъ сепараторовъ весьма много, но онѣ различаются лишь конструктивнымъ выполненіемъ; дѣйствіе же большинства основано на „искривленіи“ пути текущей по трубѣ смѣси пара и воды. По сущности, простѣйшимъ сепараторомъ является всякое искривленіе или колѣно на трубѣ, и имъ, какъ уже сказано, возможно и даже слѣдуетъ пользоваться для отдѣленія воды отъ пара, устраивая карманъ какъ на чер. 365 и 374, такъ чтобы вода могла падать внизъ и отводиться по трубкѣ *W* къ конденсаціонному горшку. Конструкція сепаратора можетъ быть неудачной въ томъ отношеніи, что отдѣленную отъ пара воду держатъ очень близко къ текущей далѣе струѣ пара и этотъ послѣдній успѣваетъ опять поднять и увлечь часть воды. Въ этомъ отношеніи обычная конструкція сепаратора, чер. 373, I, нехороша и слѣдуетъ преподчитать расположеніе по образцу чер. 375 или же чер. 376 (сепараторъ Мелдрума).

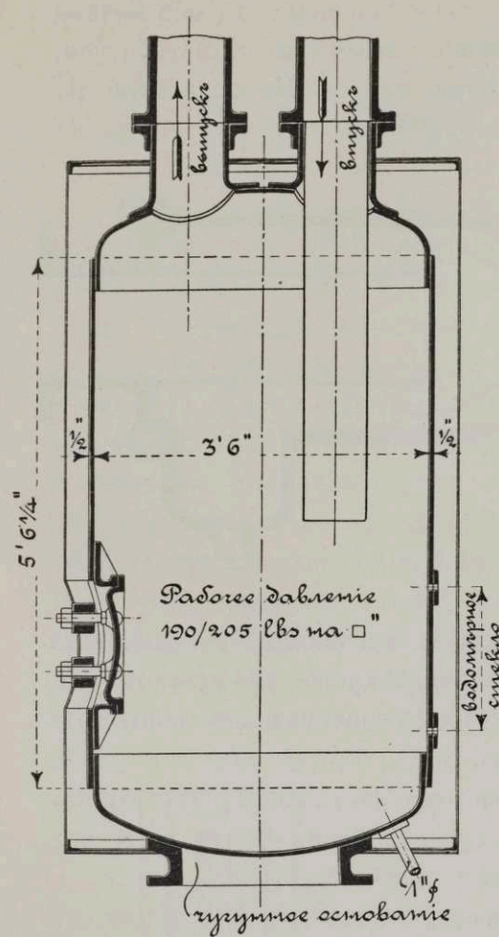


Чер. 378.

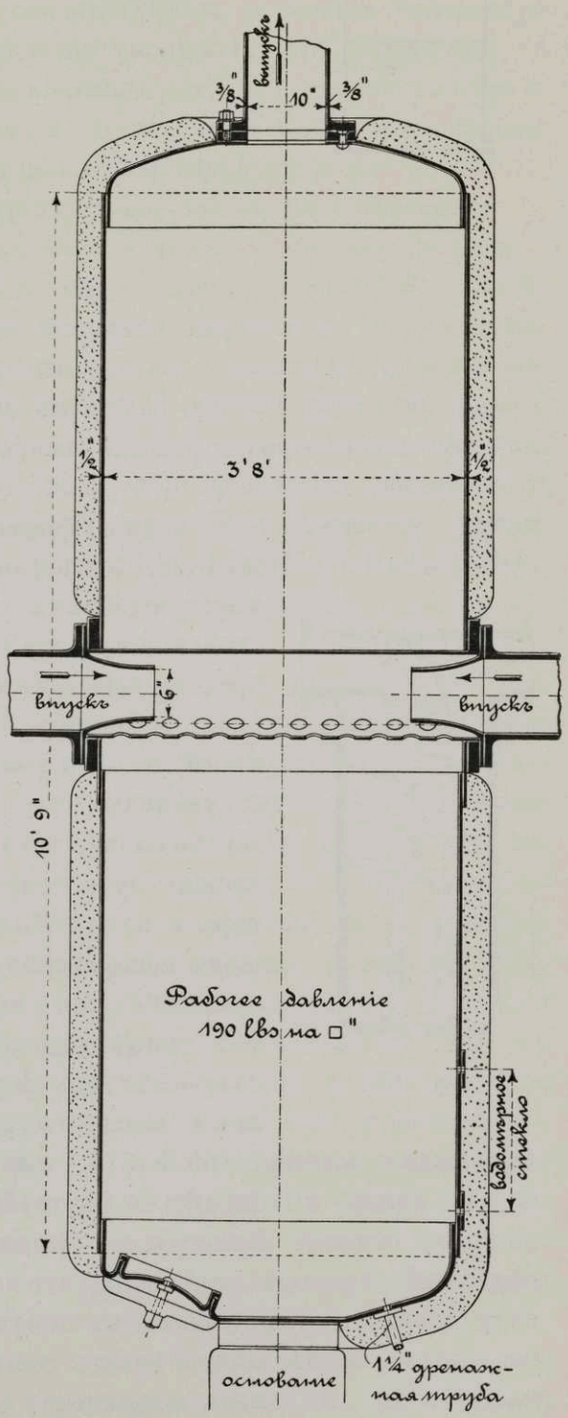
На чер. 377 приведенъ еще примѣръ сепаратора съ винтовымъ каналомъ.

На чер. 378, 379 и 380 показаны сепараторы большого объема, служащіе въ

то же время и резервуарами для уничтоженія вибрацій струи пара, о которыхъ уже упоминалось на стр. 467. Такъ какъ масса перегородокъ и заворотовъ является совершенно ненужною, и для отдѣленія воды отъ пара вполнѣ достаточно, если паръ всего одинъ разъ рѣзко измѣнитъ направленіе своего движенія, то въ этихъ трехъ сепараторахъ, конструированныхъ Англійскимъ инженеромъ Макъ - Грегоромъ, лишнія перегородки выброшены и устройство получается весьма простое. На чер. 378 показанъ желѣзный клепаный сепараторъ-резервуаръ, гдѣ паръ входитъ сверху и, дойдя до конца трубы, заворачиваетъ опять вверхъ и уходитъ далѣе; благодаря большой высотѣ цилиндра, вода спокойно скопляется внизу и не подхватывается вновь стремящимся паромъ. На чер. 379 показана подобная же конструкція; объемъ этого сепаратора въ 16 разъ болѣе объема цилиндра высокаго давленія той машины, которую онъ питаетъ паромъ. Этотъ резервуаръ - сепараторъ былъ установленъ послѣ того, какъ обнаружились весьма сильныя вибраціи паропровода и пульсированія въ работѣ уже поставленной ранѣе паровой турбины благодаря колебаніямъ ея регулятора, вызываемымъ періодическими впусками пара. Благодаря установкѣ резервуара, никакихъ вибрацій при работѣ паровой машины не появлялось.



Чер. 379.



Чер. 380.

На чер. 380 показанъ сепараторъ-резервуаръ, гдѣ, для еще болѣе надежнаго устраненія вибрацій, введено сходящееся коническое сопло, совершенно подобно тому, какъ это уже описано было на стр. 467. Объемъ этого резервуара, тоже клепанаго изъ желѣза, въ 14 разъ болѣе объема цилиндра высокаго давленія, а наименьшая площадь сопла равна 36 процентамъ площади самой паровой трубы.

Размѣръ сепаратора или № его по каталогу выбирается въ зависимости отъ того количества воды, которое онъ долженъ отдѣлить и отвести; для опредѣленія этого количества необходимо сдѣлать предварительный подсчетъ количества конденсирующейся воды на той части длины трубы, которую будетъ обслуживать сепараторъ. Число сепараторовъ, ко-

торые необходимо поставить на данномъ паропроводѣ, выбирается въ зависимости отъ полной длины всѣхъ трубъ и отъ мѣстныхъ условій; точныхъ правилъ дать нельзя. Напр., по Хедеру число сепараторовъ можно выбирать для длинныхъ горизонтальныхъ паропроводовъ такъ:

Длина паропровода въ метрахъ =	10	50	100	200	500
число сепараторовъ:					
для сухого пара	1	2	3	4	10
для мокраго пара	2	4	6	8	15

Количество образующейся въ изолированномъ паропроводѣ конденсаціонной воды принимаютъ обыкновенно, при насыщенномъ парѣ, равнымъ около 1,5 литра въ часъ на одинъ квадратный метръ наружной поверхности трубы; при перегрѣтомъ парѣ главное образованіе воды будетъ происходить при пускѣ холоднаго паропровода въ работу. Точный расчетъ размѣровъ сепаратора является, такимъ образомъ, очень неопредѣленнымъ.

Для удаленія отдѣленной сепараторами воды служатъ *отводчики конденсаціонной воды* или *конденсаціонные горшки,* которые устанавливаются въ удобныхъ мѣстахъ и къ которымъ вода изъ сепараторовъ ведется трубочками. Вмѣстѣ съ водою къ горшку имѣетъ доступъ и паръ, и потому основнымъ условіемъ при проектированіи горшка является то требованіе, *чтобы горшокъ выпускалъ изъ себя только воду*, а пара не выпускалъ, такъ какъ выпускъ пара составлялъ бы чистую потерю. Для соблюденія этого условія горшки приходится конструировать такъ, что они работаютъ періодически, именно, выпускаютъ воду только тогда, когда она накопится въ горшкѣ въ опредѣленномъ количествѣ; какъ скоро же вся вода вышла и за нею начинаетъ вырываться паръ, выходъ изъ горшка запирается.

Дѣйствіе большинства горшковъ для паропроводовъ высокаго давленія основано обыкновенно на движеніи поплавка, омываемаго водою, или же ковша, наполняемаго водою; перемѣщеніе поплавка или ковша, при помощи механизма, производитъ открытіе или закрытіе выпускного клапана. Когда вода скопляется, то выпускной клапанъ открывается; когда же вода выпущена и къ выходу устремляется паръ, поплавокъ запираетъ выходной клапанъ.

Конструкцій такихъ горшковъ весьма много.

Другіе горшки, преимущественно для парового отопленія, основаны на томъ, что конденсаціонная вода становится со временемъ холоднѣе пара и поэтому, при наполненіи прибора водою, отъ охлажденія нѣкоторыхъ частей, омываемыхъ водою, происходитъ укороченіе ихъ и этимъ вызывается открытіе клапана; когда же къ выпускному отверстію устремится паръ, части удлиняются и выпускъ запирается.

Особенныя затрудненія представляетъ устройство конденсаціонныхъ горшковъ для перегрѣтаго пара.

Такъ какъ при пускѣ въ ходъ холоднаго паропровода образуется много конденсаціонной воды, то желательно, для быстраго отведенія этой послѣдней, имѣть, возлѣ конденсаціонныхъ горшковъ, обходныя трубочки, такъ чтобы можно было выпускать воду не заставляя ее проходить сквозь горшокъ.

Вода, выбрасываемая конденсаціоннымъ горшкомъ, и имѣющая температуру выше 100 градусовъ Цельзія, уноситъ значительное количество тепла, что̀ составляетъ чистую потерю. Поэтому, въ настоящее время пользуется значительнымъ распространеніемъ новая система удаленія изъ паропровода конденсаціонной воды, которая представляетъ значительныя выгоды въ смыслѣ экономіи тепла. Эта система состоитъ въ

томъ, что никакихъ конденсаціонныхъ горшковъ не употребляютъ, а вся конденсаціонная вода изъ всѣхъ сепараторовъ собирается по трубочкамъ въ одинъ общій центральный сосудъ или бакъ, и затѣмъ изъ него автоматически подается особымъ насосомъ прямо въ котлы для питанія ихъ. Благодаря такому устройству, при которомъ въ котлы подается подъ давленіемъ вода, имѣющая температуру значительно выше температуры кипѣнія на открытомъ воздухѣ, получается замѣтная экономія въ расходѣ топлива и устраняется цѣлая масса конденсаціонныхъ горшковъ, требующихъ ухода, которые всѣ замѣняются однимъ надежно сконструированнымъ насосомъ. Въ такомъ насосѣ вода собирается въ центральномъ резервуарѣ и затѣмъ, тоже при помощи поплавка, насосъ приводится въ дѣйствіе, когда воды скопится достаточное количество. Въ Европѣ такіе насосы впервые были выпущены фирмою Зейффертъ. Подробности о нихъ см. въ каталогѣ фирмы.

При устройствѣ такой системы автоматической обратной подачи воды въ котелъ необходимо всегда устраивать параллельно и вторую систему для спуска воды въ ручную, которою придется пользоваться во время пуска паропровода въ работу и т. п.

Заслуживаетъ вниманія также система автоматической подачи конденсаціонной воды въ котелъ при помощи самого давленія пара въ паропроводѣ (паровая петля). Сущность этой системы описана въ книгѣ „Rohrleitungen“, изданной фирмою Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen, и въ книгѣ проф. Гавриленко „Паровые котлы“ (изданіе 2-е, стр. 548—551).

Наличность образованія конденсаціонной воды и необходимость устройства приспособленій для ея отдѣленія и отведенія очевидны сами собою при насыщенномъ парѣ. Когда стали распространяться въ послѣднее время установки съ машинами, работающими сильно перегрѣтымъ паромъ, то не разъ высказывались мнѣнія, что при такомъ парѣ въ трубахъ конденсаціонной воды быть не можетъ и что не нужно устраивать сепараторовъ и отводчиковъ. Но такое мнѣніе ошибочно. Даже и при нормальной полной работѣ паропровода наблюдалось образованіе конденсаціонной воды; при пускѣ же паропровода въ работу и при работѣ его подъ неполною нагрузкою извѣстное количество воды всегда можетъ образоваться и образуется, а потому *и при перегрѣтомъ парѣ необходимы всѣ тѣ приспособленія, которыя устраиваются при насыщенномъ парѣ.*

Въ связи съ вопросомъ объ удаленіи изъ трубъ конденсаціонной воды находится вопросъ о такъ называемомъ *водяномъ ударѣ*. Сущность этого явленія уже была описана нами ранѣе, на стр. 50—51, и здѣсь остается прибавить лишь немногое.

Причиною удара является встрѣча входящаго въ трубы горячаго пара со скопившеюся тамъ и не удаленною своевременно холодною конденсаціонною водою. При этомъ вода въ концѣ концовъ толкается паромъ съ такою силою, что нерѣдко разрушаетъ паропроводъ.

Встрѣча пара съ накопившеюся въ трубахъ водою можетъ произойти отъ двухъ причинъ, но съ одинаковыми послѣдствіями.

Первая причина—пускъ пара изъ неработавшаго котла въ паропроводъ, такъ неудачно расположенный, что въ немъ имѣются водяные мѣшки, подобные показаннымъ на чер. 35 и 357. Въ этомъ случаѣ, при открытіи паропускного вентиля происходитъ водяной ударъ.

Вторая причина—дренированіе трубопровода, находящагося подъ давленіемъ. Такое явленіе происходитъ въ томъ случаѣ, когда всѣ котлы находятся въ работѣ, и не присоединяется новый котелъ, а машинистъ быстро открываетъ одинъ или нѣсколько дренажныхъ кранов, для того чтобы удалить изъ паропровода скопившуюся тамъ конденсаціонную воду *. При этомъ тоже происходитъ

* въ особенности опасно, если краны поставлены большіе, съ большою площадію прохода.

встрѣча воды съ паромъ, который гонится за нею и опять является водяной ударъ. По статистикѣ, собранной Стромейеромъ въ 1901 году, изъ 50 случаевъ водяного удара, зарегистрованныхъ въ отчетахъ Board of Trade, бо́льшая часть случаевъ имѣла причиною именно это обстоятельство, т. е. дренированіе подъ давленіемъ, и лишь незначительное число случаевъ произошли отъ открытія вентиля для пуска въ ходъ неработавшаго котла. Поэтому, **дренированіе трубъ подъ давленіемъ, подъ паромъ, въ настоящее время строжайше запрещается** и непремѣнно рекомендуется: *сперва прекратить впускъ въ паропроводъ пара, а затѣмъ уже открывать дренажные краны*, какъ объ этомъ уже было говорено и ранѣе.

Послѣдствія водяного удара бываютъ, какъ уже неоднократно говорилось, весьма серьезныя: разрушаются и трубы, и вентили и фасонныя части. Стромейеръ, въ томъ же изслѣдованіи, дѣлаетъ попытку—опредѣлить теоретически силу удара, и, сравнивая потомъ, въ 1909 году, результаты выводовъ съ дѣйствительными разрушеніями, находитъ хорошее подтвержденіе своей теоріи. За подробностями слѣдуетъ обратиться къ оригинальному докладу Стромейера (см. „The Practical Engineer“, 1909 годъ, October 8).

Какъ еще одинъ, весьма любопытный примѣръ, свидѣтельствующій о могуществѣ водяного удара, укажу слѣдующій случай. Водяная пробка, гонимая паромъ, ударила сверху въ бронзовый клапанъ, *продавила его сквозь сѣдло*, на которое онъ опирался и вогнала его такимъ образомъ внутрь парового котла, въ которомъ, кстати сказать, въ это время паръ имѣлъ давленіе въ 150 фунтовъ! Клапанная коробка осталась при этомъ цѣлой, не была разорвана.

Для того, чтобы избѣжать водяного удара, необходимо соблюдать *величайшую осторожность, и не довѣрять ничему*. Крайняя подозрительность будетъ здѣсь давать лучшіе результаты. Въ 1904 году въ Англіи былъ случай водяного удара, происшедшій отъ того, что въ пространствѣ между двумя вентилями, одинъ надъ котломъ, а другой въ отдаленіи, скопилась конденсаціонная вода, хотя вентили были закрыты; но они пропускали немного, а дренажнаго крана между ними не было. При открытіи вентиля для сообщенія этого котла съ магистралью, произошелъ сильный водяной ударъ и стѣнку вентиля противъ трубы вырвало. Діаметръ трубъ—10 дюймовъ.

Во избѣжаніе подобныхъ случаевъ часть трубы между двумя вентилями всегда слѣдуетъ снабжать дренажнымъ краномъ. Вентили же слѣдуетъ открывать по возможности осторожно и медленно.

Для уменьшенія опасности отъ водяного удара, если бы таковой все таки случился, необходимо принять за правило слѣдующее:

Когда стоявшій котелъ присоединяется, послѣ остановки, къ магистрали, наполненной паромъ отъ остальныхъ котловъ, то необходимо дождаться, чтобы давленіе въ присоединяемомъ котлѣ *непремѣнно стало равнымъ давленію въ магистрали;* если же, какъ это, къ сожалѣнію, часто случается, включаютъ въ сѣть новый котелъ еще въ то время, когда давленіе въ немъ значительно меньше, нежели въ магистрали, то отъ этого обстоятельства водяной ударъ усиливается тѣмъ болѣе, чѣмъ больше разность между давленіемъ въ магистрали и давленіемъ въ котлѣ, такъ какъ паръ съ тѣмъ большей скоростію будетъ врываться въ соединительную трубку присоединяемаго котла, чѣмъ ниже въ этомъ послѣднемъ будетъ давленіе. Такіе случаи извѣстны.

Вообще, чѣмъ большее число машинъ и котловъ присоединено къ одной общей магистрали, тѣмъ больше будетъ вѣроятность водяного удара, въ особенности если магистраль выполнена въ видѣ кольцевой или круговой магистрали (см. далѣе).

§ 133. Общее расположеніе паропровода.

Выборъ расположенія котловъ и машинъ (поршневыхъ или турбинъ) находится въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, а выборъ расположенія паропроводныхъ трубъ отъ котловъ къ машинамъ зависитъ, въ свою очередь, отъ расположенія машинъ и котловъ и отъ числа ихъ.

Въ томъ случаѣ, когда имѣется одинъ котелъ и къ нему одна же единственная машина, дѣло обстоитъ такъ просто, что не требуетъ никакихъ спеціальныхъ поясненій. Но когда имѣется нѣсколько машинъ и нѣсколько котловъ, то можно себѣ представить весьма разнообразные способы проводки между ними трубъ, и изъ этихъ возможныхъ варіантовъ необходимо всякій разъ выбрать тотъ, который является наиболѣе выгоднымъ при данныхъ обстоятельствахъ.

Какъ двѣ крайности можно себѣ представить: вопервыхъ, такое устройство, когда отъ всѣхъ котловъ идутъ трубы въ одинъ центральный резервуаръ, и изъ него расходятся къ машинамъ, отопительнымъ приборамъ и пр., и, вовторыхъ, такое устройство, гдѣ, наоборотъ, отъ каждаго котла идутъ къ машинамъ независимыя трубы, и соединятся между собою лишь тамъ, гдѣ безусловно необходимо. Между этими крайностями можетъ быть множество промежуточныхъ комбинацій, изъ которыхъ и надо выбрать наивыгоднѣйшую.

Соображенія, которыми приходится руководиться при рѣшеніи этого вопроса, въ главныхъ чертахъ таковы.

A.—Возможно *малая стоймость* всего паропровода, для достиженія которой желательно имѣть трубы возможно малаго діаметра и малой длины, и число вентилей какъ можно меньшее.

B.—Достаточная **надежность** работы сложной сѣти въ случаѣ поломки или порчи какой нибудь ея части, для чего приходится имѣть запасныя или обходныя трубы и много вентилей для установленія различныхъ комбинацій частей паропровода между собою; именно, здѣсь является желательнымъ, чтобы паръ изъ каждаго отдѣльнаго котла могъ быть пущенъ въ любую машину, и чтобы всякое мѣсто сѣти, въ случаѣ порчи, могло бы быть выключено безъ перерыва въ доставкѣ пара изъ всѣхъ работающихъ котловъ, которому надо тогда дать другой путь, помимо выключеннаго мѣста.

Это второе соображеніе идетъ въ разрѣзъ съ первымъ и искусство конструктора и заключается въ томъ, чтобы въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ уловить наивыгоднѣйшую средину.

Въ практикѣ послѣднихъ лѣтъ на большихъ паровыхъ станціяхъ (въ особенности электрическихъ) установилось *три* главныхъ типа употребительныхъ расположеній трубъ, именно: простой или одиночный паропроводъ, *кольцевой* паропроводъ и **двойной** или **параллельный** паропроводъ; въ сложныхъ случаяхъ эти системы иногда комбинируются между собою.

Выборъ расположенія трубъ зависитъ, прежде всего, отъ относительнаго расположенія машинъ и котловъ, и теперь удобно будетъ различить три случая, именно, когда:

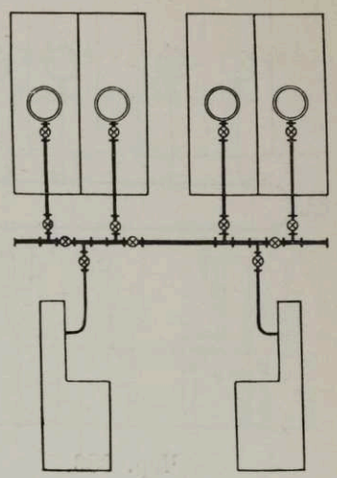
1). ось котельнаго помѣщенія параллельна оси машиннаго помѣщенія;
2). ось котельнаго помѣщенія *перпендикулярна* къ оси машиннаго помѣщенія;
3). ось котельнаго помѣщенія является **продолженіемъ** оси машиннаго помѣщенія.

(о расположеніи трубъ на пароходахъ здѣсь не говоримъ).

Разсмотримъ первый случай.

I). **Ось котельнаго помѣщенія параллельна оси машиннаго помѣщенія.** Этотъ случай въ практикѣ встрѣчается очень часто. При немъ весьма естественнымъ

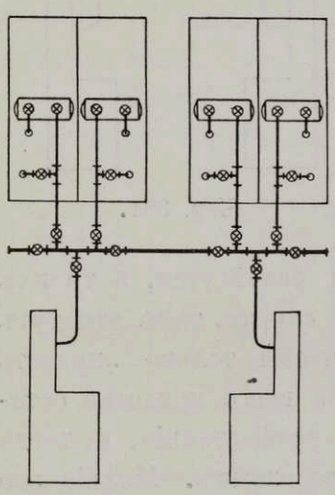
является устройство *одиночнаго* сборнаго паропровода, показаннаго на чер. 381. Всѣ трубы отъ отдѣльныхъ котловъ впадаютъ въ одну общую сборную трубу (которая можетъ быть названа и сборнымъ резервуаромъ, но только она обыкновенно имѣетъ видъ длинной трубы, а не короткаго резервуара) и изъ этой же трубы выходятъ трубы, ведущія паръ къ машинамъ. Противъ каждой крупной машины, по возможности ближе къ ней, ставится та группа котловъ, которая необходима для ея питанія и паръ кратчайшимъ путемъ и идетъ въ тѣ машины, которыя стоятъ ближе всего къ „ихъ“ котламъ; лишь въ случаѣ порчи одного котла паръ пойдетъ изъ остальныхъ котловъ отчасти и въ „дальнія“ машины. Такое устройство весьма просто и дешево, такъ какъ по разнымъ мѣстамъ сборной трубы проходятъ только *разности* между количествомъ пара, потребнымъ для одной машины и количествомъ доставляемымъ однимъ котломъ; но нигдѣ черезъ трубу не проходитъ *все* количество пара, доставляемое всѣми котлами вмѣстѣ; сборная труба является, такимъ образомъ, только какъ бы уравнителемъ въ количествахъ (и отчасти въ давленіяхъ) пара, доставляемыхъ отдѣльными котлами. Это не трудно уяснить себѣ, продѣлавъ нѣсколько простыхъ примѣровъ при разныхъ числахъ машинъ и котловъ. Такимъ образомъ, діаметръ сборной трубы выходитъ не особенно большимъ. Извѣстное число вентилей, позволяющее выключить всякую испортившуюся машину, котелъ или часть трубы, стоитъ на трубѣ, но оно не велико.



Чер. 381.

На чер. 381 было показано расположеніе для насыщеннаго пара; для перегрѣтаго пара устройство нѣсколько усложняется, но суть дѣла остается та же; примѣръ показанъ на чер. 382 (городскія электрическія станціи въ Вормсѣ, Майнцѣ, Людвигсгафенѣ).

Весьма важнымъ преимуществомъ одиночнаго паропровода по сравненію съ кольцевымъ является то обстоятельство, что при одиночномъ паропроводѣ паровая установка съ гораздо бо́льшимъ удобствомъ поддается расширенію, т. е. постановкѣ добавочныхъ машинъ и котловъ.

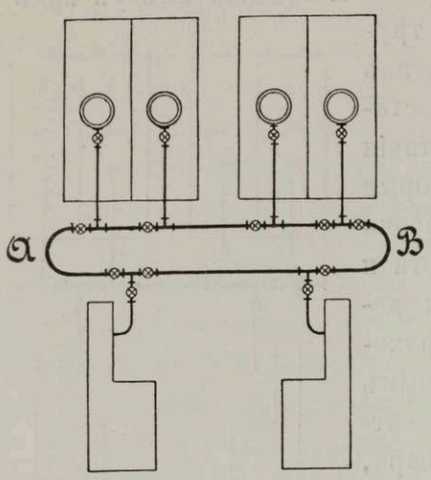


Чер. 382.

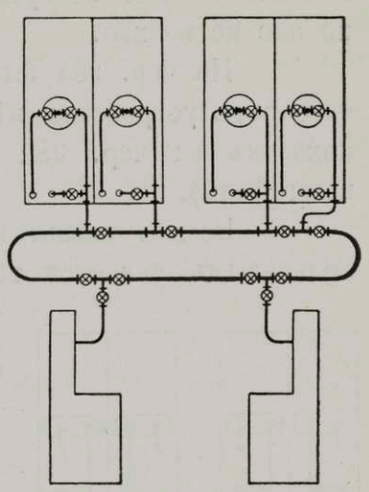
Теперь перейдемъ къ **кольцевому** паропроводу. Въ одиночномъ, сборномъ паропроводѣ самою слабою его частью является именно сама сборная труба, такъ какъ она представляетъ изъ себя цѣлое сборище флянцевъ и вентилей; трубы, ведущія паръ изъ котловъ въ нее, и изъ нея въ машину, несутъ мало флянцевъ и вентилей и рѣдко даютъ поводъ къ порчѣ; поэтому эти трубы всегда выполняются одиночными, запасныхъ не дѣлаютъ. Сама же сборная труба портится значительно чаще вслѣдствіе сказанной сложности своего устройства, и поэтому тамъ, гдѣ желаютъ имѣть бо́льшую надежность на случай порчи, устраиваютъ вторую, *запасную* сборную трубу, располагая ее, такъ сказать, параллельно * съ первой и соединяя обѣ эти трубы по концамъ, такъ что образуется замкнутая по концамъ *петля* или *кольцо*, отчего такое расположеніе и получаетъ названіе *кольцевого* паропровода. Такое расположеніе показано на чер. 383. Здѣсь въ одну, такъ сказать, „половину“ кольца, впадаютъ трубы изъ котловъ, а изъ другой половины выходятъ трубы къ машинамъ. Благодаря этому получается, при поврежде-

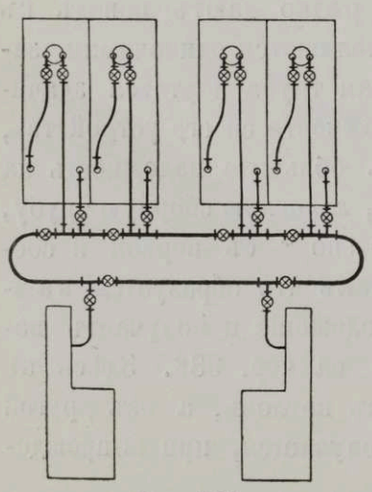
* понятно, что выраженіе „параллельно“ здѣсь надо понимать не буквально, а условно, такъ какъ на всѣхъ чертежахъ показаны только *схемы*, и то, что̀ начерчено въ видѣ прямой линіи, на дѣлѣ можетъ быть весьма сложная ломаная или кривая линія въ пространствѣ.

ніяхъ, бо́льшая надежность работы, такъ какъ мѣста присоединенія къ кольцевой сборной трубѣ котельныхъ и машинныхъ трубъ отдѣлены другъ отъ друга извѣстнымъ разстояніемъ (а иногда и стѣною). Какъ видно изъ самой сущности такого устройства, оно соотвѣтствуетъ не параллельному, какъ раньше, а послѣдовательному, такъ сказать, включенію котловъ, и здѣсь паръ идетъ все время въ одномъ направленіи, такъ что въ послѣднихъ частяхъ кольца, гдѣ начинаются машинныя отвѣтвленія, черезъ трубы кольца проходятъ весьма значительныя количества пара; въ нормальномъ состояніи кольца часть пара идетъ отъ средины его влѣво, и часть вправо; но если крайняя часть *A* кольца испортится, то весь паръ пойдетъ въ одну сторону черезъ *B*, и тогда сѣченія кольца у *B* должны будутъ пропускать черезъ себя **полное**, суммарное количество пара, образующееся во **всѣхъ** котлахъ вмѣстѣ. Благодаря этому, діаметры нѣкоторыхъ частей кольца получаются весьма значительными. Конечно, было бы ошибкой (которую тѣмъ не менѣе часто дѣлаютъ въ практикѣ) — расчитывать эти мѣста кольца, допуская въ нихъ такую же малую скорость пара, которая допускается при нормальной работѣ; ввиду того, что, въ случаѣ порчи, такія условія работы будутъ продолжаться не долго, слѣдуетъ при расчетѣ кольца на полное количество пара брать скорость гораздо болѣе, нежели при нормальныхъ условіяхъ, но даже и при этомъ могутъ получиться весьма большіе размѣры трубъ, а слѣдовательно и значительная стоимость устройства (трубъ, опоръ и пр.), а также и большія потери вслѣдствіе лучеиспусканія. Благодаря этимъ непріятнымъ свойствамъ кольцевого паропровода, многіе инженеры высказываются противъ его устройства, указывая еще при этомъ (и, по моему, не безъ основанія) на то, что, вопервыхъ, порча или поломка вентиля, флянца и пр. есть вещь весьма рѣдкая при хорошо устроенномъ паропроводѣ, а вовторыхъ, на то, что, если случится какое нибудь серьезное поврежденіе, какъ то: взрывъ вентиля, поломка флянца и пр., то это вовсе не такая простая вещь, что только переключить вентили — и паръ пойдетъ въ другую сторону кольца! Несомнѣнно, котельное или машинное помѣщеніе наполнится паромъ, люди разбѣгутся, а то ихъ еще и обваритъ паромъ, иногда и до смерти, такъ что тутъ придется думать вовсе не о томъ, чтобы только „пустить паръ въ другую сторону“, а вѣрнѣе всего придется остановить на порядочное время работу всей станціи, и тогда кольцевой паропроводъ окажется безполезнымъ. Мнѣніе это раздѣляется многими авторитетными инженерами, и поэтому теперь кольцевой паропроводъ встрѣчается уже не такъ часто.



Чер. 383.


Чер. 384.

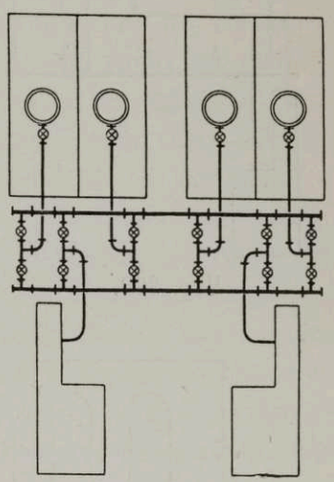

Чер. 385.

При проектированіи кольцевого паропровода вентили должны быть расположены обдуманно, такъ, чтобы, при наименьшемъ числѣ ихъ, возможно было бы выключить любую испортившуюся часть кольца, не нарушая работы станціи.

На чер. 383 представлено было устройство для насыщеннаго пара (примѣры—электрическія станціи въ Аахенѣ, Оснабрюкѣ и Карлсруэ). Расположеніе кольцевого паропровода для перегрѣтаго пара представлено на чер. 384 (примѣры—электрическія станціи въ Фрейбургѣ и Манн-

геймѣ). Здѣсь трубы отъ перегрѣвателя и трубы, ведущія насыщенный паръ, соединяются, передъ вступленіемъ своимъ въ кольцо, въ одну общую трубу. Но считается лучшей конструкціей — вести эти трубы отдѣльно до самаго впаденія ихъ въ кольцо; примѣръ такой конструкціи показанъ на чер. 385 (примѣры — электрическія станціи городовъ Гейдельберга и Магдебурга).

Третій типъ расположенія—это *двойной* паропроводъ. Въ этомъ случаѣ устраиваются, такъ сказать, двѣ простыхъ сборныхъ трубы, расположенныя параллельно (въ указанномъ ранѣе смыслѣ) другъ другу. Всѣ трубы, ведущія паръ изъ котловъ, и всѣ трубы, ведущія паръ далѣе къ машинамъ, впадаютъ не въ самыя сборныя трубы, а въ особые мостики между ними, на которыхъ и сосредоточена вся масса вентилей, необходимая при такомъ расположеніи. Такое расположеніе показано на чер. 386. Если удастся расположить дѣло такъ, что всѣ вентили съ мостиками будутъ сосредоточены на небольшомъ протяженіи, близко другъ къ другу, то устройство является тогда весьма удобнымъ въ смыслѣ обращенія и ухода. Большое число вентилей повышаетъ стоимость устройства, но за то повышается надежность работы паропровода и его, такъ сказать, податливость, способность приспособляться къ различнымъ, могущимъ встрѣтиться, условіямъ работы.

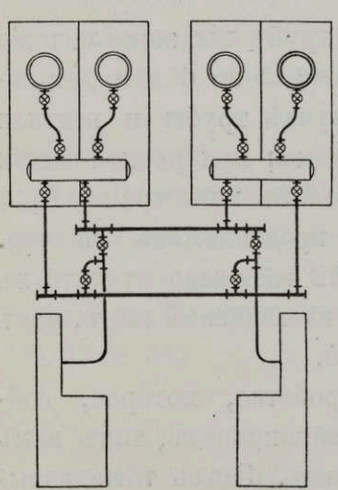


Чер. 386.

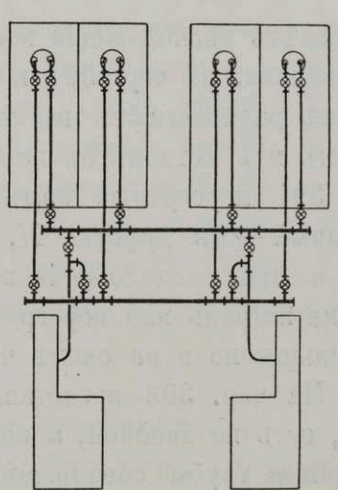
Какъ понятно изъ самой сущности двойного паропровода, цѣль его состоитъ въ томъ, чтобы, въ случаѣ поврежденія въ одной сборной трубѣ, изолировать ее при помощи вентилей и работать съ другою. Для того, чтобы избѣжать безполезныхъ потерь черезъ лучеиспусканіе, обыкновенно во время работы бываетъ наполнена паромъ только одна изъ двухъ трубъ двойного паропровода; во вторую же паръ пускается только въ случаѣ порчи первой трубы. Это является большимъ преимуществомъ передъ кольцевымъ паропроводомъ, гдѣ обѣ части, соединенныя въ кольцо, всегда наполнены паромъ.

Устройство двойного паропровода иногда упрощаютъ, вводя въ систему парособиратели; такое устройство показано на чер. 387 (примѣръ — электрическая станція г. Касселя). Это устройство и устройство чер. 386 назначены для насыщеннаго пара.

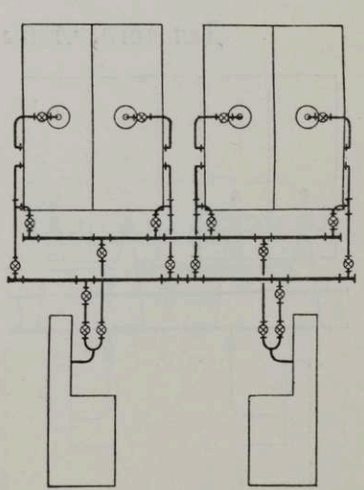
Иногда присоединяютъ котлы не къ мостамъ, а отдѣльно къ обѣимъ трубамъ; машины же берутъ паръ изъ мостиковъ. Такое расположеніе (для насыщеннаго пара)



Чер. 387.



Чер. 388.

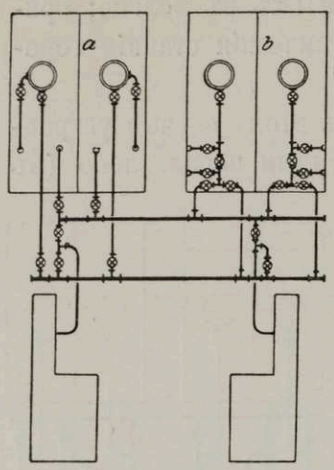


Чер. 389.

показано на чер. 388 (примѣры его — электрическія станціи городовъ Висбадена, Вислоха и Нюренберга).

Иногда вводятъ котлы въ сборныя трубы группами, и тогда бываютъ воз-

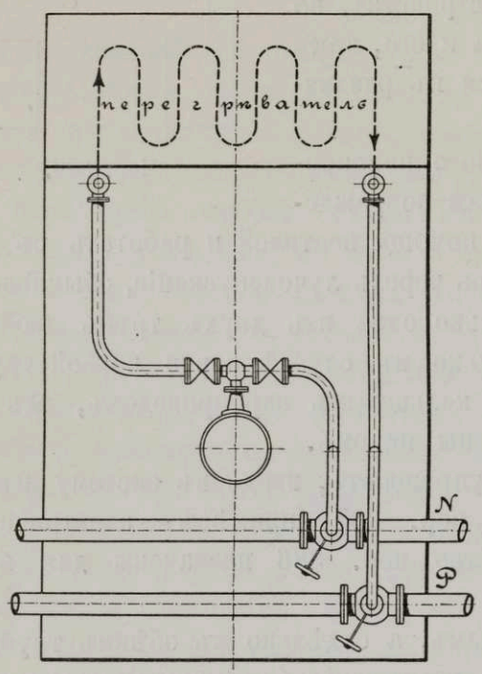
можны упрощенія въ работѣ, такъ какъ ненужныя части главныхъ сборныхъ трубъ просто выключаютъ изъ работы.



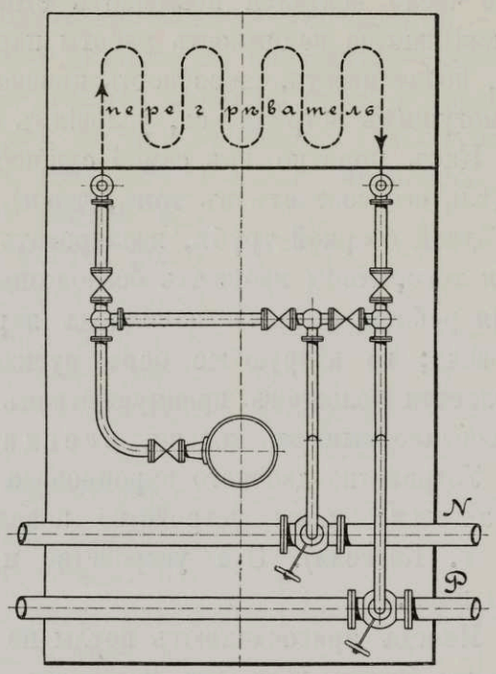
Чер. 390.

Расположеніе двойного паропровода для перегрѣтаго пара, однако безъ возможности—выключать перегрѣватели изъ работы, показано на чер. 389 (станція г. Бонна). Расположенія же, при которыхъ возможно перегрѣватели выключать, показаны на чер. 390, *a* и *b*. На чер. 390, *a*, показано простое и надежное расположеніе, состоящее въ томъ, что перегрѣтый паръ вводится въ одну сборную трубу, и это будутъ нормальныя условія работы, а насыщенный паръ вводится въ другую, параллельную первой, трубу, которая и работаетъ въ случаѣ порчи перегрѣвателей.

На чер. 390, *b*, представлено обыкновенное расположеніе съ выключаемыми перегрѣвателями (электрическія станціи городовъ Вислоха и Кёльна), причемъ въ любую трубу возможно пускать какой угодно паръ.

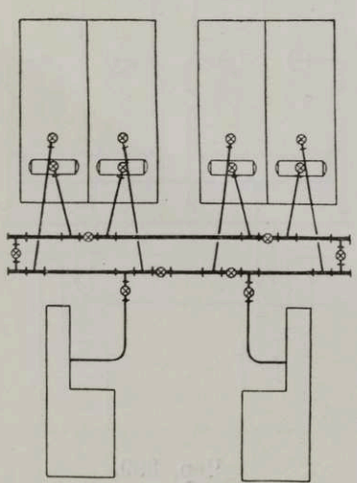


Чер. 391.



Чер. 392.

Для того, чтобы яснѣе видѣть расположеніе вентилей и трубъ для переключенія перегрѣвателя, на чер. 391 и 392 представлено болѣе детально — какъ располагаютъ въ такомъ случаѣ трубы и вентили на одномъ изъ котловъ съ перегрѣвателемъ; при расположеніи по чер. 391 перегрѣтый паръ пускается въ магистраль *P*, а насыщенный — въ другую, *N*, какъ и предположено на чер. 390, *a*, а при расположеніи по чер. 392 возможно пускать въ любую магистраль или перегрѣтый или насыщенный паръ, какъ то предположено и на схемѣ чер. 390, *b*.


Чер. 393.

На чер. 393 представлено устройство, которое, собственно, есть не двойной, а кольцевой паропроводъ, такъ какъ обѣ двойныя трубы соединены по концамъ. Здѣсь тоже насыщенный паръ ведется въ одну сборную трубу, а перегрѣтый — въ другую; но особенность та, что машинные паропроводы впадаютъ только въ одну трубу, именно въ ту, куда поступаетъ перегрѣтый паръ; поэтому, въ случаѣ понадобится работать съ насыщеннымъ паромъ, то необходимо соединить трубы по концамъ, образуя, такимъ образомъ, замкнутый или кольцевой паропроводъ (станція г. Обергаузенъ).

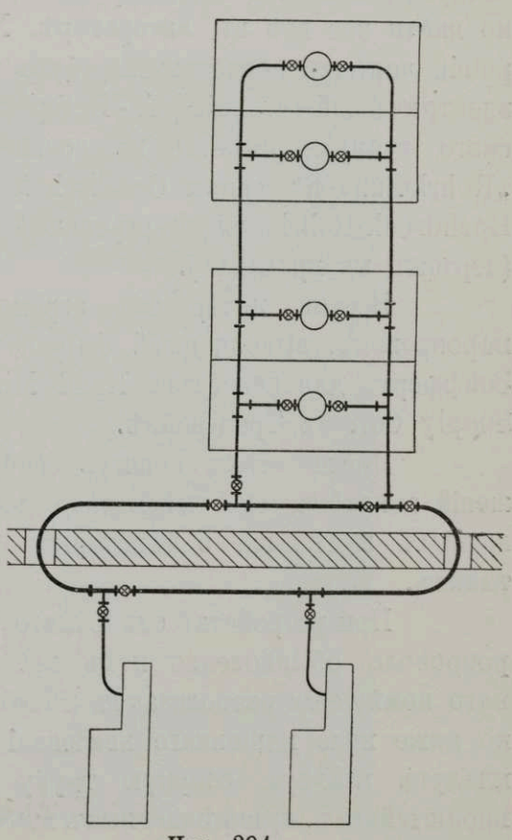
Иногда двойной паропроводъ устраиваютъ не только съ тою лишь цѣлью, чтобы пользоваться второю трубою, какъ запасною, въ случаѣ поломки первой трубы; въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ потребленіе пара колеблется такимъ образомъ, что въ теченіи извѣстнаго времени требуется большое количество пара, а въ другое время (напримѣръ, ночію) — меньшее, устраиваютъ трубы двойного паропровода съ *разными* діаметрами и пользуются большою трубою въ часы наибольшаго расхода пара, а меньшею—при меньшей потребности въ парѣ. Благодаря этому, конечно, получается значительная экономія и въ первоначальномъ устройствѣ и въ потерѣ отъ охлажденія трубы во время работы. Такіе случаи встрѣчаются, напримѣръ, въ горнозаводскомъ дѣлѣ (примѣръ см. въ Haeder's Zeitschrift für Maschinenbau und Betrieb 1904 г., № 21; здѣсь двойная труба замкнута, однако, въ кольцо). Другой примѣръ подобнаго устройства имѣется въ журналѣ The Engineering Record, 1905, Dec. 30, гдѣ описана центральная станція отеля „Бельмонтъ“ въ Нью-Іоркѣ; главная магистральная труба имѣетъ здѣсь діаметръ въ 16 дюймовъ, а трубы, ведущія въ нее паръ изъ котловъ, имѣютъ діаметръ въ 8 дюймовъ; вспомогательная магистральная труба имѣетъ діаметръ въ 10 дюймовъ, а трубы, ведущія въ нее паръ изъ котловъ—діаметръ въ 5 дюймовъ; подробности см. въ названномъ журналѣ.

Слѣдуетъ замѣтить, что совершенно по тѣмъ же соображеніямъ, какъ и для кольцевого паропровода, многіе инженеры высказываются противъ и двойного паропровода, считая, что **хорошо** устроенный одиночный паропроводъ лучше всякихъ двойныхъ и кольцевыхъ; повидимому, такое мнѣніе сильно распространено между Американскими инженерами, если судить по Американскимъ техническимъ журналамъ, гдѣ постоянно указывается на случаи устройства одиночныхъ паропроводовъ вмѣсто двойныхъ.

Англійскій инженеръ Макъ-Грегоръ не безъ основанія замѣчаетъ, что если необходимо ставить двойныя трубы, тогда тѣмъ болѣе надо ставить и двойные комплекты паровыхъ машинъ, котловъ, электрическихъ генераторовъ и т. п., однако же это не дѣлается.

II. **Оси котельнаго и машиннаго помѣщеній перпендикулярны.** Въ этомъ случаѣ одиночный паропроводъ, очевидно, непригоденъ, такъ какъ при немъ, въ случаѣ если испортится флянецъ, ближайшій къ машинамъ, прекратится подача пара отъ всѣхъ котловъ. Поэтому, здѣсь обязательнымъ является второй, параллельный паропроводъ, такъ что образуется двойной, или же, при соединеніи трубъ, кольцевой паропроводъ, или же комбинаціи обоихъ этихъ родовъ.

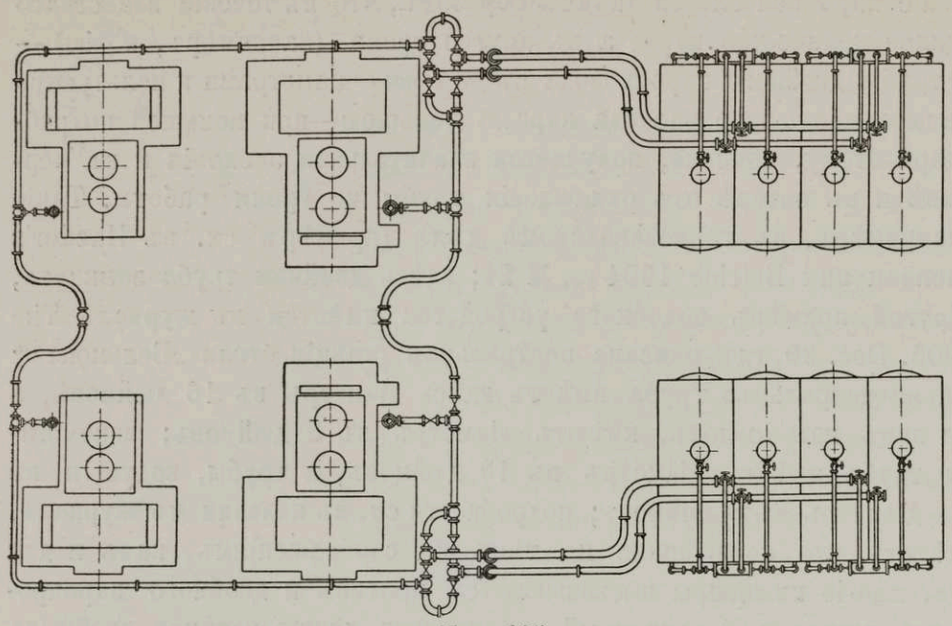
На чер. 394 представлена схема расположенія трубъ въ простѣйшемъ случаѣ такого рода. Примѣромъ подобнаго расположенія является смѣшанная отопительно - освѣтительная паровая станція въ Дрезденѣ (чертежъ имѣется въ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1903 годъ, № 33 и 34).



Чер. 394.

III. **Оси котельнаго и машиннаго помѣщеній являются продолженіемъ одна другой.** Примѣръ расположенія трубъ въ такомъ случаѣ мы имѣемъ въ электрической станціи г. Эссенъ на Рурѣ, чер. 395. Здѣсь у двухъ группъ котловъ устроенъ, у каждой, двойной паропроводъ, такъ какъ онъ даетъ возможность получить меньшую поверхность охлажденія трубъ, нежели при кольцевомъ (въ случаѣ перемѣннаго расхода пара). Устройство сдѣ-

лано такое, что возможно работать, по желанію, и насыщеннымъ паромъ и перегрѣтымъ. Въ машинномъ помѣщеніи паропроводъ выполненъ кольцевымъ.



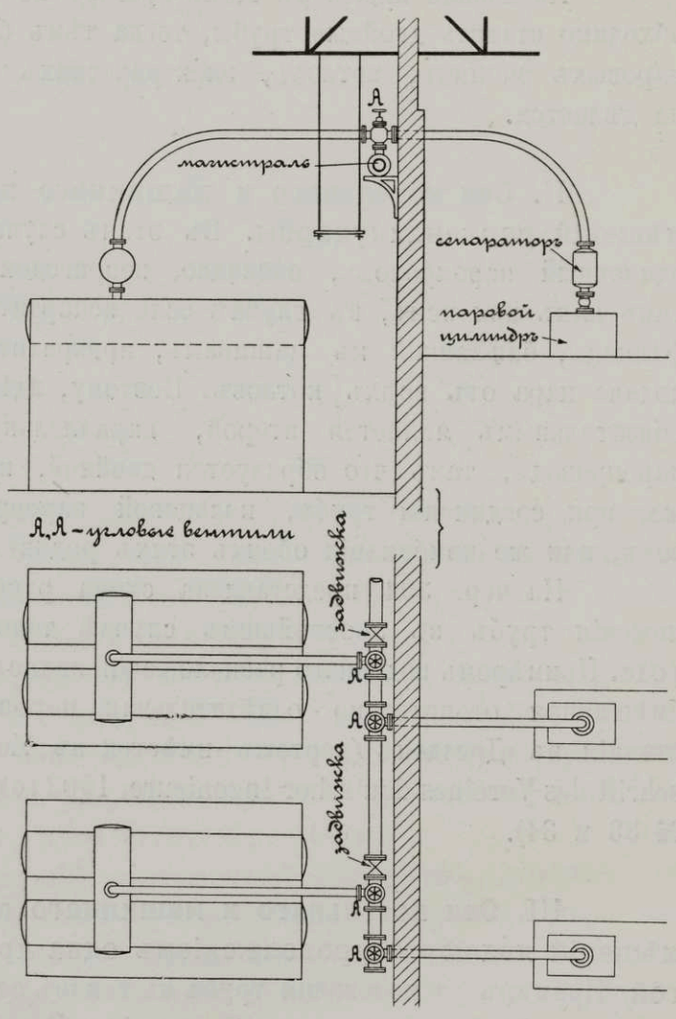
Чер. 395.

Слѣдуетъ еще упомянуть о котельныхъ станціяхъ, гдѣ перегрѣватель отдѣленъ отъ котловъ и имѣетъ свою независимую топку. При такомъ устройствѣ наиболѣе благопріятно располагается паропроводъ въ томъ случаѣ, если оси машиннаго и котельнаго помѣщеній расположены перпендикулярно и перегрѣватель поставленъ посрединѣ, между машинами и котлами; если же линія машинъ и линія котловъ идутъ параллельно, то устройство независимаго перегрѣвателя требуетъ кольцевого паропровода большого діаметра и не представляется удобнымъ.

Примѣровъ сложныхъ комбинацій трубопроводовъ здѣсь не привожу ввиду громоздкости чертежей. Ихъ можно найти кое гдѣ въ литературѣ. Хорошій чертежъ расположенія трубъ на электрической станціи С.-Петербургскаго трамвая имѣется въ сочиненіи „Rohrleitungen“ фирмы Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen, строившей его (чертежъ въ краскахъ).

Весьма интересенъ огромный паропроводъ, выполненный фирмою Ф. Зейффертъ для Общества Rand Mines Supply Co., въ Трансваалѣ.

Послѣ этихъ общихъ соображеній сдѣлаемъ еще нѣсколько добавочныхъ замѣчаній о нѣкоторыхъ деталяхъ.

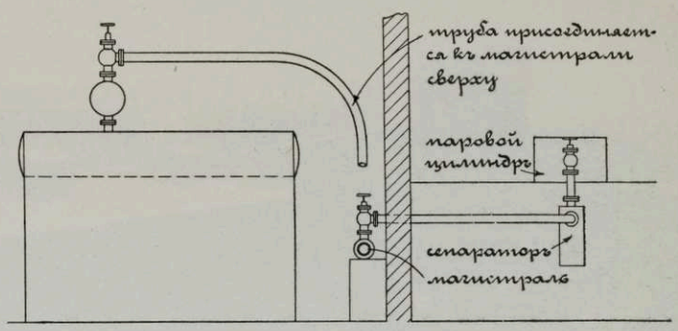


Чер. 396.

При устройствѣ одиночнаго паропровода обыкновенно полъ котельнаго помѣщенія располагаютъ нѣсколько ниже пола машиннаго помѣщенія и кладутъ главную сборную трубу на кронштейнахъ, прикрѣпленныхъ къ стѣнѣ, раздѣляющей котельное и машинное помѣщенія. Типичное расположеніе такого рода показано на чер. 396. Труба, ведущая изъ котла въ сборную трубу, вводится въ нее сверху и здѣсь же ставится угловой запорный вентиль; такимъ обра-

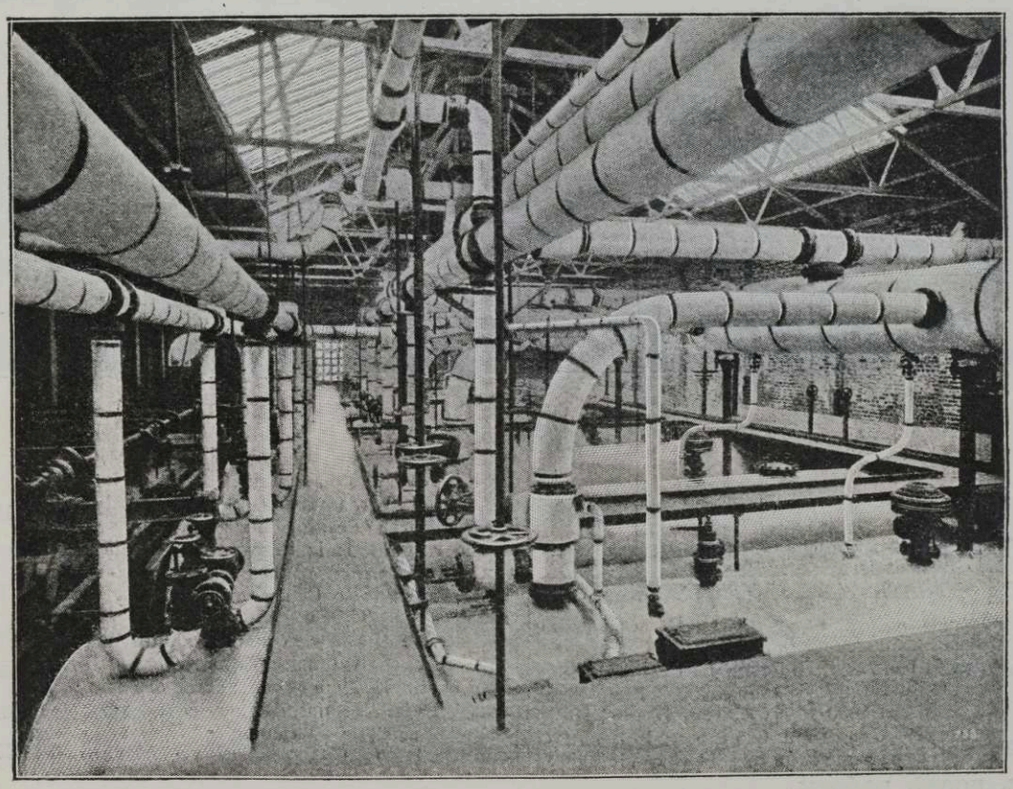
зомъ избѣгается образованіе водяного кармана. Трубы, ведущія паръ къ машинамъ, расположены подобнымъ же образомъ. И тѣ и другія трубы очерчены дугами большого радіуса, облегчающими свободное расширеніе. Главную сборную трубу и вообще возможно бо́льшую часть трубъ рекомендуютъ помѣщать не въ машинномъ, а въ котельномъ помѣщеніи, какъ и показано на чертежѣ 396, такъ какъ, въ случаѣ какой нибудь поломки или порчи, если помѣщеніе наполнится паромъ, все, находящееся въ котельной, окажется гораздо менѣе чувствительнымъ къ соприкосновенію съ паромъ, нежели то, что̀ находится въ машинномъ помѣщеніи и въ особенности, если дѣло идетъ объ электрической станціи, гдѣ имѣются въ машинномъ помѣщеніи деликатные электрическіе приборы и аппараты, на послѣдующей работѣ которыхъ вредно отзывается то, что они пробыли нѣкоторое время въ атмосферѣ пара, наполнившаго помѣщеніе послѣ взрыва и т. п.

Иногда проводятъ сборную трубу и внизу, у пола, и тогда котлы и машины могутъ имѣть общій уровень пола, какъ видно на чер. 397; въ такомъ случаѣ котельный вентиль можетъ быть помѣщенъ и надъ котломъ, при условіи, что труба отъ него загнется потомъ внизъ, къ главной сборной трубѣ, входя въ нее сверху.



Чер. 397.

При другихъ системахъ расположенія (кольцевая, двойная и смѣшанная) также бываютъ различныя расположенія трубъ, и вверху и внизу, вызываемыя отчасти мѣстными условіями, а отчасти и просто фантазіей конструктора. Такъ, напримѣръ, при проводкѣ трубъ въ машинномъ помѣщеніи въ Германіи нерѣдко считается „красивымъ“—имѣть всѣ трубы спрятанными подъ поломъ; Англичане



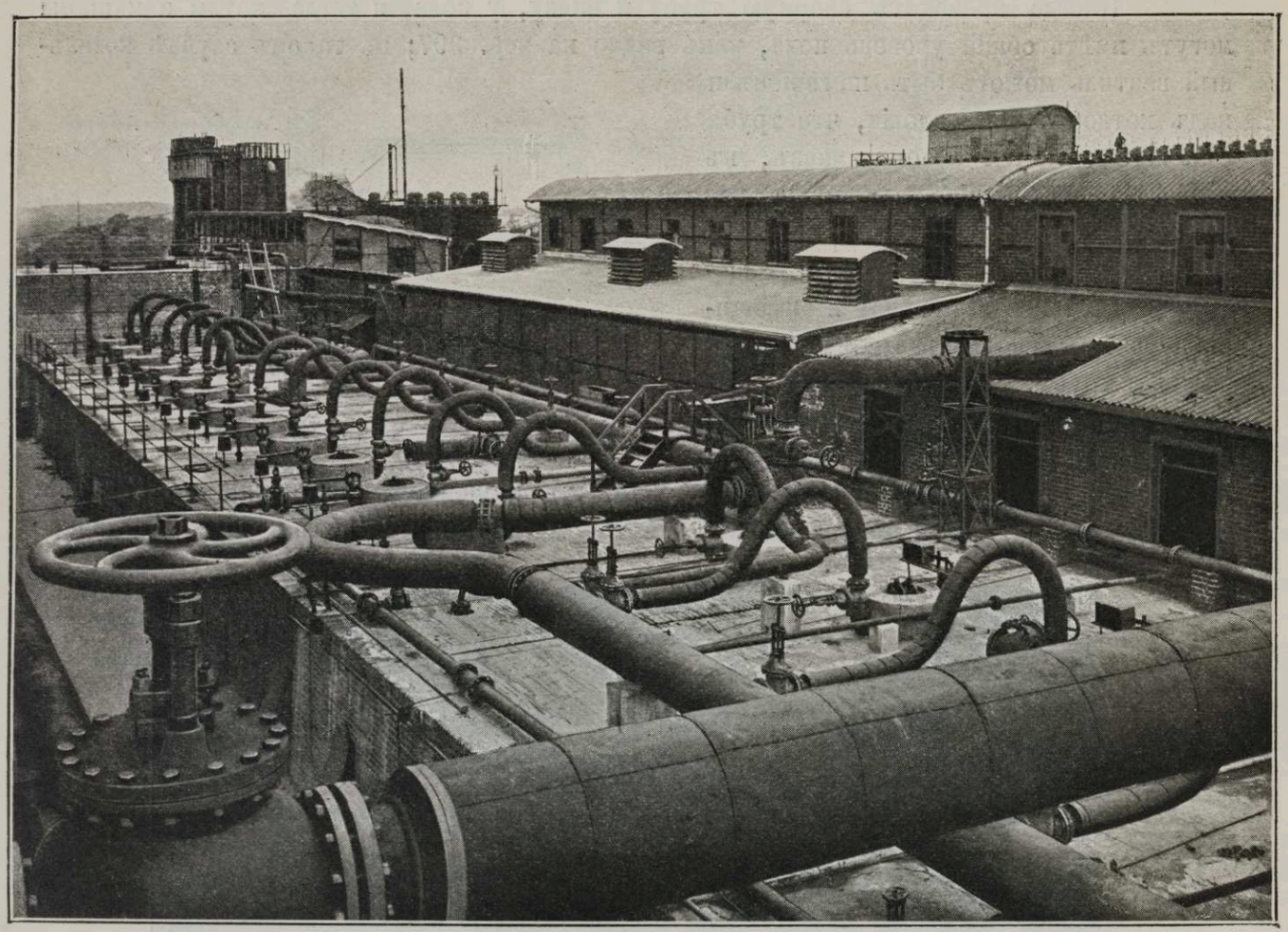
Чер. 398.

же, наоборотъ, считаютъ „очень красивымъ“, когда большія трубы, красиво одѣтыя изолирующей массой, стянутой обручами, тянутся черезъ машинное помѣщеніе. Въ котельномъ помѣщеніи, въ большинствѣ случаевъ, трубы приходится вести вверху.

Типичный видъ Англійскаго паропровода приведенъ, для иллюстраціи, на чер. 398. Онъ изображаетъ паропроводъ въ котельной станціи канатнаго трамвая въ Глазго (изоляція трубъ—магнезіей, стянутой желѣзными обручами).

На чер. 399 представлены паропроводы котельной станціи Горнозаводскаго Общества „Гиберніа“, выполненные Нѣмецкою фирмою Gesellschaft für Hochdruck-Rohrleitungen.

Относительно всѣхъ возможныхъ системъ расположенія паропроводовъ необходимо еще замѣтить, что вездѣ, гдѣ трубопроводъ вентилями раздѣляется на многія части, каждая изъ которыхъ можетъ быть по временамъ изолирована, слѣдуетъ обратить вниманіе на то, чтобы каждая изъ такихъ, могущихъ быть выключенною частей, имѣла бы дренажъ, т. е. приспособленіе для спуска конденсаціонной воды.



Чер. 399.

Какъ чисто практическое замѣчаніе, не безполезно будетъ указать на то, что послѣ сборки паропровода слѣдуетъ съ нимъ сдѣлать такую же пробу, какую рекомендуется дѣлать и въ другихъ подобныхъ случаяхъ послѣ сборки, ремонта и т. п. Именно, послѣ того, какъ сборка паропровода будетъ окончена, слѣдуетъ немедленно же *продуть его паромъ*, снявши предварительно крышки золотниковыхъ или клапанныхъ коробокъ; это необходимо для того, чтобы выгнать изъ трубъ обрѣзки дерева, гайки, болты, ключи, тряпки и т. п. предметы, которые рабочіе имѣютъ милое обыкновеніе—забывать послѣ работы.

Какъ уже замѣчено ранѣе, въ подробности относительно арматуры или принадлежностей паропроводовъ я въ этомъ сочиненіи входить не имѣю возможности. Тѣмъ не менѣе, среди принадлежностей паропроводовъ, нужно упомянуть, кромѣ тѣхъ деталей, которыя уже встрѣчались ранѣе, еще одну важную часть. Это, именно, клапаны

на случай разрыва трубъ (по нѣмецки — Rohrbruchventile). Это такія предохранительныя устройства, которыя, будучи вставлены въ паропроводъ, по возможности ближе къ паровымъ котламъ, ничѣмъ не даютъ себя знать во время нормальной работы трубопровода, но, какъ только случится взрывъ или поломка трубы или вентиля, и масса пара устремляется изъ котла наружу, стремясь наполнить помѣщенія и сварить людей, такой клапанъ автоматически запираетъ дальнѣйшій выходъ пара изъ котла, и, такимъ образомъ, устраняетъ ужасныя послѣдствія, происходящія отъ того, что помѣщенія наполняются горячимъ паромъ. Въ настоящее время имѣется много хорошо разработанныхъ конструкцій такихъ клапановъ, и, при разумномъ пользованіи ими, такіе клапаны являются весьма полезнымъ добавленіемъ къ паропроводу. Подробности объ устройствѣ и работѣ подобныхъ аппаратовъ надобно искать въ каталогахъ фирмъ, строящихъ трубопроводы и арматуру, и въ спеціальныхъ журнальныхъ статьяхъ.

———— * ————

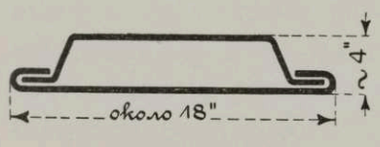
ГЛАВА XIX.

Краткія историческія свѣденія относительно трубъ.

§ 134. Исторія техники говоритъ намъ, что водопроводъ и канализація были извѣстны весьма давно, и у всѣхъ почти древнихъ народовъ мы находимъ остатки сооруженій, иногда грандіозныхъ, служившихъ для проведенія большихъ массъ воды, для цѣлей доставки чистой воды или же отвода грязной. Для проведенія умѣренныхъ количествъ воды употреблялись трубы, для проведенія же большихъ количествъ воды какъ подъ землею, такъ и надъ землею, употреблялись преимущественно открытые каналы, или прямо устроенные подъ землею (въ случаѣ канализаціи) или же устроенные на высокихъ мостахъ (акведуки) въ тѣхъ случаяхъ, когда водопроводъ приходилось вести черезъ долину. Остатки такихъ гигантскихъ акведуковъ, преимущественно Римскихъ, уцѣлѣли и до нашего времени и справедливо возбуждаютъ удивленіе своею грандіозностію. Упреки, которые нерѣдко дѣлаютъ Римлянамъ за то, что они строили такія дорогія сооруженія, какъ акведуки, необходимые при веденіи воды по открытому каналу, а не пользовались болѣе дешевыми закрытыми трубами, которыя можно уложить вездѣ параллельно поверхности мѣстности, слѣдуя за ея изгибами,— совершенно неосновательны по самой простой причинѣ, именно, по тому, что Римляне не умѣли изготовлять трубъ значительнаго діаметра, могущихъ выдержать значительное давленіе. Лишь съ развитіемъ техники стало возможнымъ замѣнить открытые каналы закрытыми трубами. Подробности объ акведукахъ и о древнихъ водопроводахъ и т. п. сооруженіяхъ имѣются въ сочиненіяхъ по исторіи инженернаго искусства и входить въ нихъ здѣсь нѣтъ надобности.

Изъ закрытыхъ трубъ самыми древними являются трубы *глиняныя* и *сверленыя каменныя,* а затѣмъ свинцовыя. Въ настоящее время установлено много примѣровъ древнихъ трубопроводовъ, нѣкоторые изъ которыхъ выдерживали давленіе до 20 атмосферъ.

Свинцовыя трубы употреблялись, главнымъ образомъ, Римлянами и остатковъ ихъ сохранилось весьма много. Трубы дѣлались или круглыми, или съ овальнымъ сѣченіемъ. Онѣ изготовлялись изъ листового свинца и сваривались по образующей. Длина трубъ доходила до 3 метровъ, а діаметръ — до 300 mm и болѣе.



Чер. 400.

Въ Батѣ, при раскопкахъ Римскихъ бань, были найдены трубы, сдѣланныя изъ свинцовыхъ листовъ, и имѣвшія прямоугольное сѣченіе, показанное, съ размѣрами, на чер. 400.

Примѣрами значительныхъ свинцовыхъ Римскихъ трубъ являются трубы акведука въ Ліонѣ, гдѣ имѣется девять параллельныхъ свинцовыхъ трубъ, діаметромъ отъ

300 до 450 mm и съ толщиною стѣнокъ въ 25 mm; эти трубы должны были выдерживать давленіе до шести атмосферъ (чему соотвѣтствуетъ по формулѣ Маріотта, для діаметра въ 450 mm, напряженіе въ 0,54 kg/□ mm).

Деревянныя трубы, высверленныя изъ сплошной колоды, тоже извѣстны были весьма давно и употреблялись напр. во времена Плинія.

Бамбуковыя трубы китайцевъ извѣстны всѣмъ.

Чугунныя трубы впервые встрѣчаются въ 17-мъ столѣтіи, во Франціи, при устройствѣ знаменитаго водопровода Марли, въ Версалѣ *, гдѣ вода подымалась на высоту около 530 футъ (1682—1685 годъ). Послѣ этого чугунныя трубы стали входить во всеобщее употребленіе. Желѣзныя и стальныя трубы появились гораздо позднѣе.

—— * ——

Прибавленія.

I.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ, когда я былъ занятъ составленіемъ первыхъ листовъ книги, преподаватель Императорскаго Техническаго Училища И. А. Калинниковъ въ разговорѣ со мной просилъ меня указать ему при случаѣ нѣсколько мало изученныхъ вопросовъ изъ области деталей машинъ, которые могли бы служить темами для работъ студентовъ въ механической лабораторіи. Я воспользовался этимъ случаемъ и, передавъ И. А. корректурный оттискъ 5 и 6 листовъ моей книги, указалъ ему на опыты Фидлера, о которыхъ говорится на стр. 79—89 книги, и въ особенности на опыты съ вырываніемъ раструбовъ. Такъ какъ опыты Фидлера были продѣланы съ трубами только малаго діаметра, то я указалъ И. А. на то, что было бы крайне желательно повторить опыты Фидлера съ трубами бо́льшаго діаметра, такъ какъ большая разрывная машина И. Т. У. позволяла это; во вторыхъ, ввиду огромнаго вліянія, которое имѣетъ буртикъ на сопротивленіе трубы вырыванію, я предложилъ изслѣдовать буртики разныхъ очертаній, такъ какъ отъ угла наклона буртика и вообще отъ очертанія его зависитъ его распирающее дѣйствіе на свинецъ. И. А. Калинниковъ заинтересовался этой темой и въ результатѣ разработалъ и удачно исполнилъ цѣлую программу очень интересныхъ опытовъ съ вырываніемъ раструбовъ. Въ общемъ его работы подтвердили выводы Фидлера. Крайне интересная работа И. А. Калинникова напечатана имъ въ первоначальномъ видѣ въ Бюллетеняхъ Политехническаго Общества за 1911 годъ, № 1, а въ болѣе разработанномъ видѣ (докладъ X Русскому Водопроводному Съѣзду)— отдѣльнымъ оттискомъ изъ Извѣстій Механическаго Института И. Т. У. (въ 1912 году), и къ ней отсылаю за подробностями.

II.

При разсмотрѣніи вопроса о прочности трубъ вездѣ предполагалось давленіе *статическое*. Это было сдѣлано потому, что, вообще, скорость теченія жидкости по трубамъ бываетъ не велика и мало измѣняется. Но, конечно, въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ скорость жидкости значительна и мѣняетъ свою величину, или направленіе, или то и другое вмѣстѣ, должно быть принято въ расчетъ давленіе гидродинамическое, т. е. учтено вліяніе силъ инерціи текущей массы.

———— * ————

* о нихъ уже упоминалось на стр. 232.

Изданія профессора А. И. Сидорова.

1). П. К. Худяковъ и А. И. Сидоровъ. **Атласъ конструктивныхъ чертежей деталей машинъ,** профессора П. К. Худякова. Изданіе *четвертое* профессора А. И. Сидорова съ значительными дополненіями, соотвѣтствующими современному состоянію машиностроенія.

Часть 1-я (Болты и винты)—цѣна 6 рублей,

Часть 2-я (Трубы и ихъ соединенія)—цѣна 6 рублей (эта часть служитъ Атласомъ къ настоящей книгѣ).

---

2). А. И. Сидоровъ. **Плоскіе регуляторы быстроходныхъ машинъ** (регуляторы въ маховикѣ), ихъ устройство, теорія и расчетъ. 172 стр. текста и 12 табл. чертежей. Цѣна 2 р. 50 к. (осталось небольшое число экземпляровъ).

---

3). А. И. Сидоровъ. **Задачи по деталямъ машинъ** (со включеніемъ задачъ на переводъ формулъ въ другія мѣры). Серія 1-я. Цѣна 1 рубль.

---

4). П. К. Худяковъ и А. И. Сидоровъ. **Детали машинъ.** Курсъ, читаемый въ Императорскомъ Техническомъ Училищѣ. Изданіе 3-е.

Часть 1-я—цѣна 2 рубля.

Часть 2-я—цѣна 2 рубля.

---

5). А. И. Сидоровъ. **Временныя таблицы** къ курсу Деталей машинъ. Изданіе 2-е.—Цѣна 2 рубля.

(Эти таблицы, вмѣстѣ съ 1-ю частью „Атласа конструктивныхъ чертежей“, служатъ атласомъ къ двумъ названнымъ подъ № 4 частямъ курса деталей машинъ).

Выписывающіе книгу отъ автора (Москва, Императорское Техническое Училище), или изъ склада Т-ва И. Н. Кушнеревъ и К° (Пименовская, собственный домъ) **за пересылку не платятъ.**

Можно выписывать наложеннымъ платежомъ.