

Военный Инженеръ Капитанъ Саткевичъ.

РАСЧЕТЪ ВОДОПРОВОДНОЙ СѢТИ ТРУБЪ.

2-я тема пробной лекціи
на получение званія преподавателя
НИКОЛАЕВСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМІИ И УЧИЛИЩА.
по кафедрѣ практической механики.

1898 г.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ

Типо-Литографія А. Ф. Маркова; Невскій просп., д. № 34.

Содержание

Литература

1. Задачи рационального расчета сети водопроводных трубъ.
2. Основная формула теории движения жидкостей по трубамъ.
3. Вліяніе местныхъ притивъ на сопротивление движению воды по водопроводнымъ трубамъ.
4. Вліяніе гидравлическаго тренія на движение воды по водопроводнымъ трубамъ.
5. Аналитическій методъ расчета водопроводной сети трубъ.
6. Графическая таблица для ускоренія вычисления сети водопроводныхъ трубъ.
7. Примерный расчетъ сети водопроводныхъ трубъ при помощи предлагаемой графической таблицы.
8. Общие условия рациональнаго начертанія сети и подлежащаго опредѣленія размеровъ ея элементовъ съ точки зрѣнія экономичности сооруженія.

Приложения:

1. Бланкъ для расчета сети водопроводныхъ трубъ.
2. Графическая таблица для расчета этой сети.

Сочиненія,
послужившія главными пособиями
при написаніи еталоны.

- 1, А. А. Еневиль Курсъ издравлики. (Курсъ Петербургскаго Технологическаго Института Императора Николая I) Петербургъ 1891.
- 2, Р. Е. Максименко. Курсъ издравлики (Курсъ Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I) Петербургъ 1891.
- 3, Н. А. Мукинъ. Издравлика (Курсъ Николаевской Инженерной Академіи) Авторъ. Записки Петербургъ 1890.
- 4, А. Пинне Курсъ издравлики (Курсъ Горнаго Института Императрицы Екатерины II) Петербургъ 1894.
- 5, Н. Чисковъ Механическій способъ вычисленія потери напора, "Строитель" 1897 №21-22 Петербургъ.
- 6, Е. Федоровъ Сдвигеніи жидкостей по трубамъ Петербургъ, 1893.
- 7, Д. К. Мерингъ Сдвигеніи жидкостей по трубамъ Петербургъ 1892.
- 8, А. А. Федяковскій Собраніе таблицъ и формулъ для инженеровъ, архитекторовъ и механиковъ Петербургъ 1867-69.

- 9, Гитте Справочная книга для инженеров, архитекторов, механиков и строителей. Перевод с англ. 2. Издание 2-е. Том I, 1897.
- 10, П. М. Маршье Справочная книга для инженеров механиков и строителей. Том I Москва 1890.
- 11, Справочная книга для инженеров и архитекторов. Том I. 1893 и 1894.
- 12, П. М. Фукс Справочная книга для инженеров, архитекторов, строителей и механиков.
- 13, Otto Lueger Die Wasserversorgung der Städte; Erste Abteilung, Stuttgart.
- 14, G. Meissner Die Hydraulik. und die hydraulische Motoren, I Band, 2^{te} Auflage.
- 15, A. Frieling Die Wasserleitungen und die Wasserversorgung der Städte. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. 3 Band, 1 Abteilung, 2 Hälfte, IV und V Kapitel, Leipzig 1893.
- 16, H. Forchheimer Über Rohrnetze. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, 1889, SS. 365 und 411.
- 17, H. Wehner. Ein Beitrag zur Berechnung des Rohr- widerstandes in der Praxis. "Gesamtheits Ingenieur" 1897, № 17.
- 18, A. Frank Die Formeln über die Bewegung des Wassers in Röhren. Civilingenieur, 1881, Heft 3, Leipzig.

19, A. Frank. Berechnung der Kanäle und Rohrleitungen. München und Leipzig, 1886.

20, Rheinhard. Kalender für Strassen- und Wasserbau und Cultur-Ingenieure, Wiesbaden 1896.

21, P. J. Flynn. Устройство водопроводных канализаций, канализаций, канализаций, водопроводных труб, водосточных и пр. Перев. А. Зыгарского Копенгага 1897.

22, W. H. Unland Kalender für Maschinen-Ingenieure 1898, Dresden.

23, Weisbach's Ingenieur. Braunschweig, 1896.

1. Задача рационального расчета сети водопроводных труб.

Основная задача рационального расчета сети водопроводных труб заключается в определении таких относительных

размеров всех элементов сети, при которых протекающая в ней вода получает стремление распространяться по различным участкам этой сети именно в тех пропорциях, какие соответствуют потребностям соответствующих районов водоснабжения. Задача эта может быть решена, хотя в настоящее время лишь до той степени приближенно, как определено сечение самой сети труб. Однако, в большинстве случаев, и это напер-

тание воды представляется усмотрению и, въ известныхъ границахъ, даже произволу проектирующаго системы водоснабженія. Въ результатъ, стало быть, въ его рукахъ оказывается весьма много произвольныхъ условій, при чемъ естественнымъ критеріемъ для отъсѣлки различныхъ комбинацій служитъ экономическая сторона вопроса — наименьшая стоимость всего сооруженія. Вотъ, почему вопросъ о расчетѣ водопроводной системы является весьма тѣсно связаннымъ съ условіями наименьшей ея стоимости. Экономическій элементъ расчета составляетъ связь расцѣнокъ теоріи съ практическою жизнью и потому въ отъдѣлѣ прикладныхъ знаній онъ долженъ быть бы и практическимъ и въ теоретическихъ изысканіяхъ нѣсколько болѣе роль, чѣмъ, повидимому, это занимаетъ въ настоящее время. Несмотря на то, что принципъ наименьшей стоимости въ водопроводномъ дѣлѣ затронутъ былъ Dupuit еще въ 1854 году, ¹⁾ до сихъ поръ его основныя требованія еще слишкомъ мало разработаны, хотя вопросъ въ настоящее

¹⁾ Dupuit Traité théorique et pratique de la conduite et de la distribution des eaux. Paris 1854.

время въ литературу водопроводнаго дела и даже въ курсы инженерии начинают проникать первыя попытки выражения этого принципа¹⁾. Существенное значение экономического вопроса составляет нась коснуться здѣсь его требованій и наметить вызываемыя имъ главныя условия проектированія и расчёта стѣн трубы, чтобы выяснитъ общіе приемы для применія тѣхъ способовъ расчёта, которыя особенно разрабатываются путемъ производимыхъ, безотчетныхъ опытовъ проектировщика. Но первую ближайшую нашу цѣль все таки является, конечно, составленіе какихъ-либо указаній для самого расчёта стѣн трубы, уже заранее выбраннаго проектированія, и, по возможности, обобщить механическій трудъ производимаго расчёта.

Вотъ, по существу главныя задачи, поставленныя въ основаніе этой работы.

¹⁾ Otto Lueger Die Wasserversorgung der Städte. 1 Abt. Stuttgart. S. 682.

H. Forchheimer Über Rohrnetze. Zeits. d. Ver. Deuts. Ing., 1889, SS. 365 u. 411.

Ф. Макаренко Курсы инженерии. Вып. 4 и 5.

У. Ебнер Курсы инженерии. Вып. 274.

A. Frühling. Die Wasserversorgung der Städte. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 3 Band, 1 Abt., 2 Hälfte, V Kap. S. 130.

2. Основная формула теории движения тяжелой жидкости под влиянием собственного веса, в идеальном случае отсутствия всякого рода сопротивлений движению, теоретически представляется известной формулой

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{или} \quad h = \frac{v^2}{2g}, \quad \dots \quad (1)$$

выражающей связь между скоростью протекания жидкости в некоторой точке системы и превышением над этой точкой свободного уровня питающего резервуара.

Однако, действительные условия движения такой жидкости вносят настолько существенную поправку в результаты абстрактных выводов такой чистой теории, что практически необходимая высота напора h превышает теоретическую зачатку в десятки, а иногда и в сотни раз. Вот почему формула (1) является только некоторой теоретической идеей, дающей лишь общее направление изучения вопроса; желая же приблизиться к настоящему положению явления заставляя обратиться к детальному

изучению сопротивлений, встречаемых движущейся жидкостью.

Въ специальной обстановке движения воды по водопроводящимъ трубамъ все эти, такъ называемыя гидравлическія, сопротивления могутъ быть сведены въ две группы:

1) Сопротивления местные, действующія лишь въ некоторыхъ отдельныхъ пунктахъ трубопровода, какъ-то: изменение диаметровъ и направления трубъ.

и 2) Сопротивления постоянныя, действующія на всемъ протяжении стѣны, которымъ присвоено, хотя и не совсемъ удачное название гидравлическаго трения.

Имѣя въвиду общій характеръ явленія, олицетворяемой формулой (1), старающаяся, въ болѣе или менѣе степени, представить эти отклоненія отъ теоретическаго абстракта, въвиду котораго коэффициентъ, вводимый въ формулу (1), лишь до некоторой степени содействуетъ и научное представление сущности этихъ сопротивлений. При этомъ основная формула (1) принимаетъ видъ:

$$h = (1 + \sum \xi + \eta) \frac{v^2}{2g}, \dots \dots \dots (2)$$

здесь $\sum \xi$ есть сумма коэффициентов, соответствующих различным илловым сопротивлениям и η — коэффициент, отвечающий гидравлическому трению; 1-же есть коэффициент, сохранившийся от основной формулы (1), который иногда называют коэффициентом „для образования скорости V “.

Существенное влияние на результаты формулы коэффициентов $\sum \xi$ и η , при разном самом их характере, составляет ^{нась} различность их близость, в отдаленности один от другого.

3 Влияние илловых приливов на сопротив- ление движению во- ды по водопровод- ным трубам.

Ради краткости и по-
следовательности изло-
жения, илловаго урало
собрание данных для рас-
чета водопроводной со-
сти трубы, мы не будем
здесь приводить теоретических выво-
дов формул, соответствующих каж-
дому виду сопротивлений и получаемых
самыми элементарными путями, так
как выводы эти иллются въ любомъ
курсе гидравлики, а остановимся лишь
на результатахъ ея изслѣдованій, иллю-
ющихъ интересъ при изученіи движенія
воды по трубамъ.

Къ известнымъ приметамъ, относящимся на работу водопроводной сети, добавимъ еще одну особенность:

А, Изгибы направлений трубъ (колена)

1, Нескрученная колена (фиг. 1)

Первая высота напора:

$$h_1 = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \frac{(v/\mu - v)^2}{2g} = (\mu - 1)^2 \frac{v^2}{2g} = \xi_1 \frac{v^2}{2g};$$

и по Weisbach'у:

$$\xi_1 = 0,9457 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\alpha}{2},$$

что приводит къ следующей таблице:

При $\alpha =$	30°	45°	60°	90°	120°
$\xi_1 =$	0,07	0,18	0,36	1,00	1,86

2, Скрученная колена (фиг. 2):

Первая высота напора $h_2 = \xi_2 \frac{v^2}{2g}$,

при чемъ

по Navier: $\xi_2 = (0,0039 + 0,0185 R) \frac{S}{D^2}$,

и по Weisbach'у: $\xi_2 = \left[0,131 + 1,848 \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}$,

Последняя формула даетъ следующие величины ξ_2 при различныхъ значенияхъ отношения r/R и угла α :

при: $r/R =$ $\alpha =$	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00
30°	0,043	0,05	0,10	0,27	0,66
45°	0,065	0,08	0,15	0,40	1,00
60°	0,085	0,10	0,25	0,55	1,32
90°	0,13	0,15	0,30	0,80	2,00
120°	0,17	0,20	0,40	1,10	2,64

Б) Испытания разрывов труб:

3) Переход к большому диаметру (фиг. 3)

$$h_3 = \left(\frac{v - v_2}{2g} \right)^2 = \left(\frac{a_2}{a_1} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \xi_3^2 \frac{v_2^2}{2g}$$

4) Переход к меньшему диаметру (фиг. 4)

$$h_4 = \left(\frac{v_2/\mu - v_2}{2g} \right)^2 = \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \xi_4^2 \frac{v_2^2}{2g}$$

5) Сужение стечения отверстий в тонкой стенке (фиг. 5)

$$h_5 = \left(\frac{v/\mu - v}{2g} \right)^2 = \left(\frac{a}{\mu a_0} - 1 \right)^2 \frac{v^2}{2g} = \xi_5^2 \frac{v^2}{2g}$$

6) Перемена диаметра при одновременном сужении отверстий в тонкой перегородке (фиг. 6)

$$h_6 = \left(\frac{v/\mu - v_2}{2g} \right)^2 = \left(\frac{a_2}{\mu a_0} - 1 \right)^2 \frac{v^2}{2g} = \xi_6^2 \frac{v^2}{2g} *$$

Для случаев 3^ю, 4^ю, 5^ю и 6^ю, руководствуясь данными Веисбаха, можно составить такую таблицу:

При $\begin{cases} d_2/d_0 \text{ (для сур. 3ю)} = \\ d_2/d_0 \text{ (для сур. 5ю)} = \\ d_2/d_0 \text{ (для сур. 6ю)} = \end{cases}$									
	3	2,5	2	1,66	1,50	1,33	1,25	1,10	1,00
ξ_3	= 64	28	9	3,1	1,6	0,6	0,3	0,04	0
ξ_5	= 180	80	28	10	5,6	2,2	1,3	0,4	0
ξ_6	= 185	84	30	12,3	7,2	3,5	2,5	1,0	0,5

$$\xi_4 = \left[\xi_6 \right]_{\text{при } a_0 = a_2} = 0,5.$$

* по новейшей теории: $\xi_3 = \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2 - 1$; $\xi_4 = \left(\frac{1}{\mu} \right)^2 - 1$; $\xi_5 = \left(\frac{a}{\mu a_0} \right)^2 - 1$, и $\xi_6 = \left(\frac{a_2}{\mu a_0} \right)^2 - 1$, но такие коэффициенты еще не установлены окончательно.

7, Расположение суженой части между двумя трубками разных диаметров (фиг. 7)

$$h_7 = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \frac{v_0^2}{2g} + \left(\frac{a_2}{a_0} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left[\left(\frac{a_2}{a_0}\right)^2 \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 + \left(\frac{a_2}{a_0} - 1\right)^2 \right] \frac{v_2^2}{2g}.$$

8, Расположение суженной части между двумя трубками разных диаметров (фиг. 8)

$$h_8 = \left(1 - \frac{a_1}{a_0}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} + \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left[\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \left(1 - \frac{a_1}{a_0}\right)^2 + \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \right] \frac{v_2^2}{2g}.$$

9, Вытекание воды в резервуар с горизонтальными трубками (фиг. 9)

$$h_9 = \frac{v^2}{2g} \quad \text{и} \quad \xi_9 = 1.$$

В, Влияние сапунных приборов.

10, Заглушка (фиг. 10)

по Weisbach'у

При $\frac{e}{d} = \frac{1}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{8}$
$\xi_{10} = 0,07$	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

11, Поворотный клапан со среднюю осью вращения (фиг. 11)

по Weisbach'у

При $\alpha = 10^\circ$	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	90°
$\xi_{11} 0,52$	1,54	3,91	10,8	18,7	32,6	112	751	∞

12, Поворотный клапан с боковой осью вращения (фиг. 12)

по Weisbach'у

При $\alpha = 20^\circ$	30°	40°	45°	50°	60°	70°	75°	90°
$\xi_{12} = 1,7$	3,2	6,6	9,5	14	30	62	90	∞

13, Обыкновенный поворотный кран (фиг. 13)

При $\alpha = 10$	20°	30°	40°	45°	50°	60°	65°	$82\frac{1}{2}^\circ$
$\xi_{13} = 0,22$	1,56	5,47	11,3	31,2	52,6	206	425	∞

14, Внутренний конический или тесный клапан (фиг. 14).

По Grashoff'у: $\xi_{14} = \left[1,537 \frac{\alpha}{\alpha_0} - 1 \right]^2$

или Weisbach'у $\xi_{14} = 1,645 \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} - 1 \right)$

там подъем клапана не менее $\frac{1}{2}$ его диаметра.

Относительно всех этих коэффициентов следует заметить, что при практических расчетах водопроводной сети они обыкновенно не применяются, так как новейшие формулы расчета, как упомянутое ниже, охватывают собою все встречаемые потоками воды в трубах сопротивления. Однако, для частных случаев особенного скопления местных препятствий знание этих коэффициентов весьма полезно, почему они нами здесь и приведены.

4. Влияние гидравлического трения на движение воды по водопроводным трубам.

При первых же попытках серьезного изучения вопроса о движении воды по трубам, пришлось

отказаться отъ представленія этого движенія въ видѣ неизмѣннаго потока, перемѣщающагося съ тѣкотою одинаковаго для всего поперечнаго сѣченія скорости и встрѣгающаго сопротивленіе отъ тренія о внутреннюю поверхность стѣнокъ трубы. Наблюденія показали различіе въ скоростяхъ протеканія воды для разныхъ точекъ поперечнаго сѣченія трубы при наибольшей скорости въ центрѣ и наименьшей на окружности этого сѣченія. Подобивъ, такимъ образомъ, движеніе воды въ трубѣ выдвиганію трубы телескопа, состоящей изъ частей разныхъ диаметровъ, опытное изслѣдованіе привело къ понятію о треніи частицъ жидкости другъ о друга, т. е. къ понятію о внутреннемъ треніи въ жидкости. Дальнѣйшія работы выяснили, что такое представленіе теченія воды въ трубѣ весьма идеально, такъ какъ въ действительности сопротивленіе въ значительной степени зависитъ отъ различныхъ неправильныхъ перемѣщеній частицъ жидкости и соудареній ихъ между собой. Въ результатъ обнаружился настолько сложный характеръ явленія, что пришлось даже

отказаться отъ строгого аналитическаго метода изурения и перейти къ изурению эмпирическому, введя предварительно понятие о средней скорости течения воды въ трубѣ, опредѣляющей тотъ-же расходъ воды въ ней, какой получается и при разномъ разнѣ скоростей действительнаго потока. Однако, за общей величинной сопротивленія движению этого потока и до сихъ поръ сохранилось еще названіе гидравлическаго тренія.

Отсутствіе строгой научной теоріи не даетъ возможности установить общей формы уравненія движения воды въ трубкахъ и поэтому обыкновенно прибѣгаютъ къ указанному выше идеальному уравненію (1), выражая потерю напора отъ гидравлическаго тренія:

$$h_0 = \eta \cdot \frac{v^2}{2g},$$

гдѣ v есть средняя скорость течения воды въ трубѣ.

Однако, опытами и разсужденіемъ достаточно точно установлено, что эта потеря напора h_0 прямо пропорціональна внутренней поверхности трубы F , или длине трубы L и ея внутренней окружности $\underline{D}$, и обратно пропорціональна площади сечения трубы $\underline{P}$, почему можно написать, что:

$$h_0 = \xi \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (3)$$

или при круглом сечении:

$$S = \pi \cdot d \text{ и } P = \frac{\pi d^2}{4}$$

и следовательно: $h_0 = \xi \frac{4L}{d} \frac{v^2}{2g} = \xi_0 \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots (4)$

Дальнейшее изучение вопроса сводится, стало быть, к определению коэффициента трения ξ_0 ; но в этом-то определении мнения различных исследователей существенно расходятся. Не имея ввиду приводить здесь подробное сопоставление различных взглядов, которое весьма растянулось бы изложение, приведем лишь некоторые более характерные из формул, определяющих величину коэффициента ξ_0 (при выражении d и v в метрах):

По Darcy	$\xi_0 = 0,01989 + \frac{0,0005078}{d}$	,
По Eytelwein'у:	$\xi_0 = 0,001754 + \frac{0,0219919}{v}$	,
По Weisbach'у:	$\xi_0 = 0,01439 + \frac{0,0094711}{\sqrt{v}}$	,
По Zener'у:	$\xi_0 = 0,01432 + \frac{0,010321}{\sqrt{v}}$	,
По Lang'у:	$\xi_0 = 0,02 + \frac{0,004}{\sqrt{v}}$	,
По Weston'у	$\xi_0 = 0,0120 + \frac{0,0173 - 0,1085d}{\sqrt{v}}$	,

(для совершенно гладких труб)

$$\text{и } \xi_0 = 0,0156 + \frac{0,035}{v}$$

(для старых ржавых труб).

Одновременное существование формул такого разнообразного характера, ставящих в зависимость то от диаметра d , то, от скорости v , то от того и другого вместе, и справедливых насаждаемых в некоторых отвечающих ей пределах, ясно указывает на случайность способов выражения явления и потому на несовершенство всех этих формул. Вот, почему с одной стороны, до самого последнего времени не прекращаются попытки создания более удобных для применений и более близких к действительности выражений для ξ_0 , с другой же стороны, на практике зачастую пользуются пока упрощенным выражением

Dupuit: $\xi_0 = 0,03025$.

Новейшие формулы отличаются тем, что совершенно нарушается общий вид выражения (4):

$$h_0 = \xi_0 \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

ввиду зависимости ^(самого) коэффициента ξ_0 ^{еще} от величин v и d , и тем, что они вводят в себя и нормально приходящая на участок истинная сопротивленция

Наиболее интересными из этих формул являются следующие:

Т. Адриановича Бродберг

формула Lampe (1873): ¹⁾

$$h_0 = 0,016263 \frac{L}{d^{1,25}} \cdot \frac{v^{1,802}}{2g} = 0,0007555 \frac{v^{1,802}}{d^{1,25}} L.$$

формула William & Foss'a (1894) ²⁾:

$$h_0 = 0,000758 \frac{v^{1,85}}{d^{1,25}} L$$

формула Levy (1869):

$$v = 20,5 \sqrt{\frac{dh_0}{4L}} (1 + \frac{3}{2} \sqrt{d}) \text{ для старых труб}$$

$$v = 36,4 \sqrt{\frac{dh_0}{4L}} (1 + \frac{1}{2} \sqrt{d}) \text{ для новых труб}$$

и формула Kutter'a в расчётных вычислениях, напр.:

Flum'a ³⁾:

$$v = \frac{K/2}{1 + 88,82 \frac{n}{\sqrt{d}}} \cdot \sqrt{\frac{dh_0}{L}}$$

где n есть коэффициент шероховатости трубы (обычн. $n = 0,013$) и K — ^(численное) количество, получаемое в особой таблице.

Из всего разнообразия формул ⁴⁾ мы для наших целей выберем формулу 2, руководствуясь

1) Lampe, Untersuchungen über die Bewegung des Wassers in Röhren. Civilingenieur, 1873

2) Eu. Meissner Die Hydraulik, I Band, S. 360, Jena

3) Рунге Движение воды в каналах, каналах, желобах, трубах и пр. Перевод Збарского, СПб. 1897, стр. 251

4) Желающим ближе ознакомиться с раз-

следующими соображениями:

1) Формулу Dupuit, как самую простую и удобную для общих теоретических соображений о сжатии труб и для расчета, в силу ее простоты под рукой таблицы и график для более точных формул.

и 2) Формулу Saint-Venant, как одну из самых близких к действительности и очень удобную для составления логарифмографической таблицы.

Рассмотрев также самый ход расчета сжатия, вооружась этими формулами.

5 Аналитический метод расчета водопроводной сжатой трубы.

Для аналитического метода вычисления элементов водопроводной сжатой трубы пользуются в большинстве случаев упрощенной формулой Dupuit

многими формулами движения воды по трубам, можно рекомендовать:

а) Otto Hen, Druckhöhen-Verluste in geschlossenen eisernen Rohrleitungen, 1880, Hamburg

б) Frank, Die Formeln über die Bewegung des Wassers in Röhren, Civilingenieur, 1881, Heft 3

в) Hamilton Smith Hydraulics The flow of water through orifices, 1886

г) Максимов Курс гидравлики, Вып. 4 и 5, 1891.

д) Рунге Движение воды и т.д. Мер. Изд. арского ЛНБ, 1897.

приводящей, въ сущьхъ выраженияхъ всѣхъ величинъ въ метрахъ, къ ряду формулъ:

$$d = 0,3 \sqrt[5]{\frac{L}{H}} \cdot q^2 = 1,128 \sqrt{\frac{q}{v}}$$

$$H = 0,00243 \frac{q^2}{d^5} \cdot L = 0,0015 \frac{L}{d} v^2$$

$$q = 20,3 \sqrt{\frac{d^5 H}{L}}$$

$$v = 1,27 \frac{q}{d^2}$$

гдѣ L — длина и d — диаметръ трубы, v — средняя скорость и q — расходъ воды въ 1 мину-ту и H — теряемая высота напора¹⁾

Тѣ же формулы для русскихъ мѣръ, въ сущьхъ выраженияхъ L и H въ саж., d въ дюйм., v — въ фут. въ 1 сек. и q въ куб. фут. въ 1 сек. (Q вед. въ 1 часъ) принимаютъ видъ

$$d_{\text{дюйм.}} = 0,076864 \sqrt[5]{\frac{L_{\text{саж.}}}{H_{\text{саж.}}} \left(Q \frac{\text{вед.}}{\text{час.}}\right)^2} = 0,148733 \sqrt{\frac{Q \frac{\text{вед.}}{\text{час.}}}{v \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}}}$$

$$H_{\text{саж.}} = 0,000002683 \frac{L_{\text{саж.}}}{(d_{\text{дюйм.}})^5} \left(Q \frac{\text{вед.}}{\text{час.}}\right)^2 = 0,005483 \frac{L_{\text{саж.}}}{d_{\text{дюйм.}}} \left(v \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}\right)^2$$

$$Q \frac{\text{вед.}}{\text{час.}} = 610,5 \sqrt[5]{\frac{H_{\text{саж.}}}{L_{\text{саж.}}} (d_{\text{дюйм.}})^5} \dots$$

$$v \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}} = 0,0221215 \frac{Q \frac{\text{вед.}}{\text{час.}}}{(d_{\text{дюйм.}})^2}$$

Этотъ упрощенный видъ формулъ уже заключаетъ въ себѣ и приходящіяся на трубу местные сопротивленія поворотовъ,

1) H. Forchhammer, „Ueber Rohre metze“. Zeits. des Ver. deutsch. Ing. 1889, S. 365.

сужений и т. п.

Главный ход расчета сети труб заключается в следующем:

На плане города отыскивают потребности воды в различных пунктах и затем эти пункты соединяют сетью труб, при начертании которой руководствуются условием наименьшей стоимости сооружения, о чем будет сказано ниже. Затем, задаваясь либо скоростями¹⁾, либо диаметрами труб, либо относительными потерянными напорами $\underline{J} = \frac{H}{L}$ (на единицу длины), определяют потерю высоты напора H и другие неизвестные величины, а по H находят требуемую высоту водонапорного резервуара, прибавлением высоты напора, требуемой на длину самого удаленного потребления²⁾

Ход вычислений не излагается в объяснениях. Надо лишь заметить, что 1, об-

- 1) Для диаметров $d = 0,5$ метра и выше . . . $v = 0,5 - 1 \frac{\text{метр}}{\text{сек.}}$
 (19 дюйм. и выше). . . (1,6 - 3,3 фута)
 $d = 0,2 - 0,5$ метра . . . $v = 0,4 - 0,8 \frac{\text{метр}}{\text{сек.}}$
 (8 - 19 дюйм.) . . . (1,3 - 1,6 фута)
 $d = 0,1 - 0,2$ метр . . . $v = 0,3 - 0,6 \frac{\text{метр}}{\text{сек.}}$
 (4 - 8 дюйм.) . . . (1,0 - 2,0 фута)

(План. гидравлика Плом I, стр. 174)

2) При вычислении должны также приниматься во внимание топографические отметки пунктов сети.

щая потеря высоты напора H ряда соединительных труб принимается, как сумма местных потерь высоты напора для каждой из этих труб, и 2, что в случае расположения трубы незначительного диаметра, расходующей почти воду приблизительно равномерно по своей длине, расчёт ведётся в том же предположении, что расход воды происходит исключительно на концы участка, причём величина этого расчётного расхода принимается равной сумме действительного расхода на концы и расхода по длине трубы, умноженного на 0,55.

Для ускорения и упрощения формальной стороны работы полезно применить заранее приготовленный бланк. Для этой цели, мы рекомендуем форму бланка, приложенную в конце статьи и отличающуюся от общепринятых тем, что на правой половине листа начерчены графики для различных диаметров труб. В графики эти для каждого рассматриваемого участка (горизонтальная строка) выписывается, по вычислению, длина трубы соответствующего диаметра. После заполнения бланка, подводятся итоги по каждому из диаметров, почему, выходя из расчётов,

получается сразу же и весь заказ трубы для стти. Сумма итогов длины всех труб должна соответствовать итогу графы левой стороны, длина участка, что служит поправкой того, все ли выписано и соединено. Последняя графа правой стороны записывает в себя все добавочные части и водопроводные принадлежности для стти трубы'). Одним словом, баснословно весьма просто сводит в себя расчеты трубы стти с данными для ее стты.

В Графическая
таблица для уско-
рения вычисления
связи водопровод-
ных труб.

Великолепно хорошо из-
вестно, как полезно въ
практической жизни
всякое средство, ускоряю-
щее и облегчающее ве-
дение сложных и уто-

математических выкладок, требуемых расчетами, и нам едва ли нужно это доказывать. По этой причине, мы задались целью дать здесь

1) Пламя приходится уже не раз при-
нимать такие бланки по расчету при-
водного и парового отоплений и убедиться
сам при этом в их несомненной utility-
образности.

такое пособие вычислений, при котором совершенно отбрасывалась бы потребность в производстве каких-либо арифметических действий на отдельных листках бумаги и весь расчет статьи тружь возможно было бы вести, лишь под рукой лишь это пособие и указанный выше бланк для записывания всех получаемых результатов (кроме того, конечно, план статьи; вопросы все данные могут быть с него переписаны на бланк заблаговременно. Таких средств облегчения расчета являются конечно разного рода таблицы, числовые и графические. Из двух этих видов таблиц мы остановились на таблицах графических, и вот почему:

1) Допуская возможность лишь лишь в ходящих числа по двум координатам, мы в крайнем случае еще одно в заголовке, числовые таблицы волей-неволей составляют разбитую расчетную формулу, часто вмещающую в себя 5-6-7 переменных количеств, на отдельные составные части, для каждой из которых требуется отдельная таблица, тем увеличивается и самое их число, и возможность ошибки при пользовании ими, и время работы. В таблицах же графических на одной и той же статье координ-

напр. может быть проведено несколько систем линий, отвечающих разным видам чисел; при этом, и переход от одного действия к другому производится весьма легко, без запоминаний сложных чисел, а лишь простыми перемещением пальца или карандаша вдоль той или другой системы линий.

2, Давая при расчетах ряд чисел, мало говорящих уму и сердцу, числовые таблицы не допускают при пользовании уверенности в них безомысленности, что еще замечательнее ищешь, знакомых с трудностью корректуры цифровых таблиц всяких сортов. Исключение в этом отношении представляют таблицы логарифмов, Бремпкера напр., но стоить тщательного стереотипа для других таблиц едва ли возможно издать. Остаются, стоило бы, при пользовании налагать на каждую цифру сигнатулу, что ни в одной из взятых цифр не встретится какой либо ошибки, кроме доходящей до пропуска цифр в начале или конце

1) Рекомендовать однако, и таким образом внимание на замеченную нами недавно не-
исправность — на стр. 113 в мантиссе логарифма числа 63878 не достает последней цифры.

мала, испытывающего результаты во десятки, а то и сотни раз. Для графической таблицы ошибка ограничивается лишь пределами точности отчета (если не считать возможности ошибки при записывании полученного результата); грубой же ошибки при правильном пользовании таблицей получиться не может.

3, Предлагаемая прямой ответ лишь для тех, входящих в таблицу по координатам, неизбежно различающихся друг от друга на большие или меньшие величины, числовая таблица для значений промежуточного предельного или конечного (и все таки при крупных промежутках далеко не точного) интерполирования или ведения ^{лишь} приближительного расчета, что, при формулах, разбитых на 3-4 составных части, весьма нежелательно, особенно при подсчете первых из этих частей, служащих основанием для вычисления следующих. Графическая же таблица, давая непрерывные кривые, олицетворяющая зависимости между переменными количествами, предлагает непосредственный ответ для любых тех значений.

Наконец, 4, графическая таблица на —
много показывает влияние, оказываемое
на результат вычислений изменением
новой из входящих в расчет величин,
чего от числовой таблицы едва ли воз —
можно требовать в столь полной мере.

Остановившись таким образом свой вы —
бор на таблицах графических, как
средство облегчения вычислений, мы для
самых этих таблиц выбрали логарифмическую систему подразделения
координат, представляющую весьма
существенные выгоды. Отличие ее
от обыкновенной системы координат
заключается в том, что по коорди —
натам отложены не сами подписан —
ные на них числа, а логарифмы
этих чисел. Хотя система логари —
мического подразделения координат
предложена еще полвека тому назад
Lalanne'ом¹⁾, однако лишь за последние
годы начинают познаваться ее неспо —
ринимые преимущества, во при все —

1) M Léon Lalanne Mémoire sur les tables graphiques
et sur la géométrie anamorphique appliquée à
diverses questions qui se rattachent à l'art de l'
ingénieur. Annales des ponts et chaussées, 1846, 1.

ниях къ практическимъ правиламъ. Препинутва эти заключаются, главнымъ образомъ, въ слѣдующемъ:

1, Благодаря закону истинности логарифмовъ посильствовательныхъ чиселъ, объемъ таблицъ, т. е. границы входящихъ въ нее значений, могутъ быть весьма широки при достаточной точности раздѣлений. Действительно, чтобы въ обыкновенную таблицу вложить значения абсциссъ отъ $0,00001$ до 1 , потребовался бы громадный листъ бумаги, либо очень сильно различающагося отъ точки делений, либо, наконецъ, деления, неровными глазами. Здесь же, въ логарифмической таблицѣ, точность при малыхъ числахъ увеличена въ счетъ уменьшенія точности при числахъ крупныхъ. Въ этомъ заключается драгоценное качество логарифмографическихъ таблицъ.

2, Процентъ точности вычислений всегда одинъ и тотъ же. При дѣйствіяхъ съ малыми числами точность абсолютная больше, при дѣйствіяхъ же съ большими она меньше. Что процентъ точности расчета всегда одинаковъ, видно изъ слѣдующаго разсужденія. Въ любой листъ таблицы наибольшая величина ошибки при отечтѣ глазами по длине,

вообще, одна и таже, т.е. масс можетъ отнестись всюду на одну и ту же длину. А эта величина представляетъ разницу между двумя логарифмами значений, внутри которыхъ заключается истинная величина, т.е. $\lg a - \lg b$, где a и b эти значения. Но $\lg a - \lg b = \lg \frac{a}{b}$. Слѣдовательно, $\lg \frac{a}{b}$, а потому и самое $\frac{a}{b}$ по всей таблицѣ одно и то же. Слѣдовательно, если b возьмемъ, напримеръ, какое болѣе-шнее, то и a будетъ какое болѣе, а вместе съ темъ и $a-b$ удвоится, а потому при какое болѣе количество и величина возможной отбѣки какое болѣе, т.е. процентная точность вычисления по всей таблицѣ одна и таже. Это вполне соответствуетъ требованіямъ практики, темъ болѣе, что неточность въ величинахъ вводимыхъ въ формулу практическихъ коэффициентовъ оказываетъ на результатъ такое же точно вліяніе.

3, Все формулы въ которыхъ входятъ дѣйствія умноженія, дѣленія и возвышенія въ любую, цѣлую или дробную, положительную или отрицательную степень, даютъ на таблицѣ системы прямыхъ параллельныхъ линій для расчета, потому: 1, проведеніе ихъ весьма просто, а потому и точно на всемъ протяженіи, 2, впр-

посты ихъ безъ большого труда परिवр-
щается 3, таблица легко можетъ быть
дополнена проведениемъ линий для техъ
значений и величинъ, которые при состав-
лении формулы либо не были приняты во
внимание и 4, отдельные системы ли-
ний меньше затеиваются одна другою.

Надо впрочемъ оговориться, что таблицы эти
милоты, вообще говоря, две невыгодныхъ сто-
роны:

1, Они сложны на первый взглядъ, но,
заинтересовавшись, только на первый, — даль-
ше глазъ къ нимъ совершенно привыкаетъ,
такъ какъ въ сущности они действий не услож-
няютъ нисколько: они даютъ лишь стиль дру-
гого начертания, на что при работѣ не
требуетъ обращать вниманія.

и 2, Они очень сложно выражаютъ фор-
мулы, въ составъ которыхъ входятъ дей-
ствия сложения и вычитанія.

Однако, въ приложеніи къ расчету во-
допроводной стѣи и послѣдняя невыгода
отпадаетъ, такъ какъ растинвая су-
чайность даетъ намъ одну изъ самыхъ по-
нкихъ, какъ увидимъ ниже, для расчета —
формулу Лап्रे — именно, въ одноименномъ
видѣ.

Вотъ, формулу при выборѣ средствъ для
облегченія и ускоренія расчетовъ водопровод-
ной стѣи, мы и остановились на систе-

ить графической таблицы съ логарифмическимъ раздробленіемъ координатъ.¹⁾

Хотя применение графическихъ таблицъ, вообще, къ данному вопросу не является какой-либо новостью²⁾, однако составленная нами таблица и способъ ея построения существенно отличаются отъ предлагавшихся до сихъ поръ.

1) Подобныя логарифмографическія таблицы составлены нами ранее, вѣроятно съ иттенеромъ В. Л. Комомъ, въ примѣненіи къ расчету всехъ центральныхъ системъ отопления и вентилляціи, о чемъ былъ сообщенъ докладъ 17 Января 1897 года въ III Отдѣлѣ Императорскаго Русскаго Техническаго Общества. Ответъ объ этомъ докладѣ будетъ помѣщенъ въ запискахъ Общества; подробная же статья, вѣроятно съ таблицами, печатанными въ двѣ краски въ картографическомъ заведеніи Имп-ла, появится вскорѣ отдѣльнымъ изданіемъ.

2) Примѣненіе метода графическихъ таблицъ къ расчету водопроводовъ вступило въ широкое применение:

Freeman C. Coffin. The graphical solution of hydraulic problems. New York. 1897 (рядъ таблицъ для разныхъ диаметровъ, отъ 4 до 60 дюймовъ, и для разныхъ сопротивленій въ трубахъ; коэффициенты по H. Smith'y)

Въ основаніе таблицы положена формула Лампе для скорости воды въ трубахъ, буга:

$$j = k \frac{v^{1,8}}{R^{1,25}}, \quad \dots \quad (6)$$

въ которой j есть относительная потеря

Ferd. Hürten Kurventafeln zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit unter Druck liegender Bauwerke in Entwässerungs- und Bewässerungsgräben. Berlin 1897, (таблица для расчета скорости v отъ d до 30 мтр., коэффициентъ по Weisbach'y)

A. Frank. Berechnung der Kanäle und Rohrleitungen. München und Leipzig, 1896, а также: A. Frank. Die Formeln über die Bewegung des Wassers in Röhren. Civilingenieur 1881, Heft 3. (логарифмическая таблица для определения Q и V по d и j ; коэффициентъ по Darcy, логарифмический коэффициентъ Frank'овъ)

Thiem. über graphische Durchmesserbestimmung bei Wasserleitung. Journ. für Gasbel. und Wasserversorgung 1885 (коэффициентъ k по Darcy, логарифмическая таблица по координатамъ d и j для Q и V).

Hobrecht Die Kanalisation von Berlin 1884 (коэффициентъ по Eytelwein'y; координаты Q и j , система кривыхъ для d)

W. P. Fehard. Gesundheitsingenieur, 1883, S. 5 (коэффициентъ по Weisbach'y; координаты d и V , кривая для Q и j)

высоты потора (потери на единицу длины, $\frac{H}{L}$), R - такж. наз. средний гидравлический радиус (отношение площади поперечного сечения P трубы к окружности S

S. Schmidt Praktischer Maschinenkonstrukteur,
1876, S. 450 (коэффициент по Weisbach. 'y)

Collignon. Cours de mécanique, II, Hydraulique,
1870 (перепечатка по Darcy)

Lalanne Annales des ponts et chaussées, 1846 (no. 200000000 no Prov.)

Крайне много, в частности H. Wehner. Ein Beitrag zur Berechnung des Rohwiderstandes in der Praxis, Gesundheitsingenieur 1897, № 17, составлен для расчета (по формуле Лапире) расхода масла в логарифмическом подрабуждении, причем на одно из из маслобатов берется циркулярная величина $\lg I - \lg K$ или $\lg \frac{I}{K}$. и величина эта переносится на маслобату, соответствующую выбранному диаметру; конечный циркуляр указывает на получаемый расход воды Q и скорость V (на русском языке также статья помечена Кросс. Числовым в, Внутренний 1897 за № 21-22 под названием, Механический способ вычисления потерь напора, причем маслобаты переведены в русские меры). Не отрицая полезности этого предложения мы находим все же методы логарифмического

Шадруновская Людмила

этого сечения) v — средняя скорость течения воды и K — опытный коэффициент шероховатости внутренней поверхности трубы.

рисоматрических таблиц более удобным по способу применения:

- 1, при этом требуется необходимость пользования циркулем или иным вспомогательным средством.
- 2, коробление и ссыхание бумаги не отражается на результатах вычисления.
- 3, при определении d не приходится решать вопроса приполюска и подыскивания.
- 4, получается большая наглядность относительного влияния всех величин расчета.
- 5, не требуется особого подсчета $T = \frac{H}{L}$ на отдельной бумажке.
- и 6, на масштабе Кернера I и K могут лежать поразные стороны один, от другого, при этом пользование масштабом издается, что неудобно.

Насколько легко ошибиться при пользовании масштабом Кернера, видно из статьи проф. Чижова, в примерах которого не мало ошибок. Так, в примере № 2, вместо заданного расхода $Q = 10,25$ куб. ф., при пользовании таблицей, очевидно, взято число 12,5, в примере № 3 скорость, равная 2,5 фута в 1 сек., показана равной 2,3 фута, в примере № 4 вместо скорости 4,9 фута

По Wehner'у ³⁾ коэффициент формулы Lampe κ равен:

0,00013 — для совершенно новых асфальтированных труб, при чистой воде.

0,00015 — для чугунных труб, находящихся в несколько худшем состоянии и проводящих чистую воду.

0,00018 — 0,00020 — для чугунных труб, покрытых осадками, — инкрустированных (это значение особенно подходит для расчета городских водопроводов)

0,00030 — для старых и очень старых чугунных труб.

Если за нормальную величину коэффициента κ принять 0,00018, то ввиду того приходится водопроводы рассчитывать не только для работы его на первое время, в новом виде, а для послыжающей его службы, при трубах до которой сте-

во сек., даваемой таблицей, почему-то помечено число 4,3. Отсутствие циркуля и переноса величин с одного чертежа на другой в графической таблице, а также систематичность ее поднесения представляют значительно большую опасность ^{против} таких неосмотров.

3) Wehner. „Ein Beitrag zur Berechnung des Rohrwindstandes in der Praxis“, Gesundheits Ingenieur, 1897 №17.

пени покрытых осадками, то значит, что ^{для} перехода к трубам новым и старой воды придется или к погрешимости I (а следовательно k) сбрасывать 27%, для трубы мало загрязненных или при чистой воде сбрасывать 15%, для трубы весьма сильно окислированных прибавлять 10% и для очень старых толстых чугунных труб прибавлять 67%.

Итак, примем за нормальную формулу расчета следующее уравнение:

$$\frac{H}{L} = J = 0,0018 \frac{v^{1,8}}{R^{1,25}} \dots \dots \dots (7)$$

или, данная для крутого строения R через d :

$$\frac{H}{L} = J = 0,00102 \frac{v^{1,8}}{d^{1,25}} \dots \dots \dots (8)$$

во сформулировать выражения всех количеств в метрах.

Триггера, составляющая нас обращаясь к формуле Лапте, замечается в большинстве совпадений погрешимых из нее выводов с явлениями действительности, лишь из других формул, в пределах употребительных на практике значений величин, в них входящих. Мы здесь не будем приводить подтверждений такому заключению, желая лишь все удостовериться в этом порекомендуем обратиться к статье

Wetneria¹⁾ и къ сочиненію Hamilton Smith²⁾, и при этомъ прямо, что формула Lampe наиболее удовлетворяетъ нашимъ требованіямъ³⁾.

Формулу эту, ранѣе составленія таблицы, мы переводимъ въ русскія мѣры, имѣя въ виду, что до сихъ поръ у насъ въ практической жизни и въ учебникахъ сохраняется способъ выраженія диаметровъ трубъ въ дюймовой мѣрѣ, чему способствуетъ и сохраненіе этой мѣры въ Англии и Америкѣ; кромѣ того, расходъ воды полезно выразить въ ведрахъ въ часъ, какъ онъ обыкновенно задается практикой, и не отно-

1) См. предыдущую выписку.

2) "In. all probability the most accurate experiments of the flow through a long pipe, where the loss of head from friction et cet., has been measured by piezometer, by Prof D-r C. J H. Lampe" Smith, Hydraulics, p. 231.

3) Рекомендѣнная Meissner'омъ въ его издѣланіи формула Fossa: $\frac{h}{L} = 0,00075822 \frac{v^{1,833}}{d^{1,33}}$ весьма мало отличается отъ соотвѣствующей ей для новыхъ трубъ формулы Lampe:

$$\frac{h}{L} = 0,000755 \frac{v^{1,802}}{d^{1,45}} \quad (\text{Meissner, Hydraulik, S 360})$$

счит. его из секунды во избежание лишних ошибок. Во время все принятия новых игр, весьма нетрудно переработать таблицу, во это время когда в поле встретится потребность.

Формула Ланге (8), при переводе в русские игры, принимает вид:

$$\frac{H}{L} = J = 0,011831 \frac{(v \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}})^{1,8}}{(d \text{ дюйм.})^{4,85}} \quad (9)$$

или, вводя в формулу расход Q ,¹⁾ получаем:

$$\frac{H}{L} = J = 0,000124 \frac{(Q \frac{\text{вед.}}{\text{час.}})^{1,8}}{(d \text{ дюйм.})^{4,85}} \quad (10)$$

Эта формула и послужила основанием для принятой в конце статьи логарифмической таблицы.

Такая таблица составлена таким образом, что внизу по оси абсцисс отложены величины относительной потери напора J справа же по ординатам величина часового расхода Q в тысячах ^(ведер) в пересчете выбранных значений этих

1) произведена подстановка

$$\frac{v \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}}{\text{Пл. (д. фут.)}^2} = 4 Q \frac{\text{куб. фут.}}{\text{сек.}} = 0,0221215 Q \frac{\text{вед.}}{\text{час.}} \frac{1}{(d \text{ дюйм.})^2}$$

координаты прямо получаем на одной из систем наклонных прямых линий требуемое значение диаметра d , а на другой системы величину средней скорости v .

Такъ какъ, въ большинствѣ случаевъ, задается не величина I , а отъвлеченная участка L и необходимая высота напора H , то таблица приспособлена и для этого случая, при чемъ величины L берутся на оси ординатъ (подписаны съ праваго края таблицы и парочно выражены числами, одинаковыми съ Q , для одинаковости подписей горизонтальныхъ линий по всему протяженію таблицы), величины же H даны особой системой диагональныхъ линий, определяющихъ точки пересеченія соответствующихъ значений L и I . Поэтому, при заданныхъ H и L , взявъ въ одинаковыхъ играхъ, напр. - еженежъ, найдешь горизонтальную линию, отвѣчающую заданной длине L , и ея пересеченіе съ диагональю, соответствующей данной H , и получаемъ вертикальную линию для искомой I , по которой, опускаясь до требуемаго Q , найдешь величины d и v . Для памяти, на углу таблицы приложена схема такого пользованія ею.

Не трудно представить себѣ, какъ

есть нужно принять таблицу, в которую заданной величины $\underline{I}$ и искомого $\underline{Q}$, $\underline{H}$ или какого-либо другого из количеств, входящих в формулу.

Для расчетов статьи тридцать, отличающиеся по характеру своей внутренней поверхности от принятых (последний отклоняется $k = 0,00018$) в формулу (6), приходится, как это указано выше, величину $\underline{I}$ увеличивать или уменьшать на некоторый процент. В этой статье на таблицу, в ее нижней части, проведены горизонтальные прямые, отвечающие вышеуказанным процентам. Для увеличения $\underline{I}$ на некоторый процент надо ординату $\underline{I} = \frac{H}{L}$ довести до линии соответствующего процента, затем вдоль системы диагоналей $\underline{H}$ спуститься до нижнего края таблицы и подняться по новой ординате, которая будет соответствовать данному углу. При уменьшении $\underline{I}$ надо, наоборот, спуститься $\underline{I} = \frac{H}{L}$ до нижнего края таблицы и вдоль системы диагоналей подняться до линии данного процента, после чего подняться уже вверх по ординате, соответствующей как раз искомому углу. Для памяти, это обозначено на приложенной к таблице схеме, в каком углу $\underline{I}$ уве-

матвается и въ какомъ уменьшается, легко сообразить и по подписанъ ординатъ. Это дѣйствіе, правда, несколько сложно, но въѣ въобще-то къ нему и не придется прибѣгать, введено же оно лишь для полноты таблицы.

7 Пространственный расчетъ стѣи водо-проводныхъ трубъ при помощи предлагаемой графической таблицы.

Для поясненія условій пользованія графической таблицей, приводимъ здѣсь пространственный расчетъ стѣи магистральныхъ трубъ, показанной на фиг. 15.

Вѣтъ эта соединяетъ 5 главныхъ точекъ обозначенныхъ цифрами отъ 1 до 5 во-семью магистральными участками. Въ каждомъ участкѣ подписаны его длина L въ саженахъ и расходъ воды, Q'' вед. въ часъ, произведенный по пути и принимаемый за равномерно распределенный по длине участка: при расчетѣ онъ умножается на 0,55 и прибавляется къ расходу на концѣ трубы для получения расчетной цифры расхода Q .

Расходъ воды концѣ каждой трубы Q' вед. въ часъ, подписанъ и подписанъ именами, заключенными въ скобки. При

этоже принято, что в толкы 5 выбра-
ывается водопроводом 2700 вед. в часъ
по 900 ведеръ каждой изъ трехъ подво-
жныхъ водъ трубъ, и въ точкахъ 2 и 4
по 1400 ведеръ, т. е. по 700 ведеръ каждой изъ
водопроводныхъ трубъ. Минимумъ въ рас-
поряжении напоръ опредѣляется раз-
ностями цифръ высотъ напора, по-
ставленныхъ у каждой изъ пяти глав-
ныхъ точекъ съити. Направление движе-
нія воды показано стрѣлками.

Цифры самаго расчета вписаны
въ приложенный бланкъ, и по нимъ
безъ труда можно прослѣдить весь
ходъ этого расчета.

Не безынтересно сопоставить съ эти-
ми результатами цифры, получаемыя
при помощи приближенныхъ формулъ
Дирит, приведенныхъ нами выше въ
сущаго русскаго языка къ виду:

$$\left. \begin{aligned} d_{\text{дюйм.}} &= 0,076864 \sqrt[5]{\frac{L_{\text{сант.}}}{H_{\text{сант.}}} \left(Q_{\frac{\text{вед.}}{\text{час.}}} \right)^2} \\ \text{и } v_{\frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}} &= 0,0221215 \frac{Q_{\frac{\text{вед.}}{\text{час.}}}}{(d_{\text{дюйм.}})^2} \end{aligned} \right\}$$

Примѣняя эти формулы къ участ-
камъ 5-2 и 3-1 взятой нами съити (фиг. 15)

Производя вычисления получаемъ:

Для участка 5-2: $d = 6,92$ дюйм. и $v = 2,45$ $\frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}$
и для участка 3-1: $d = 9,93$ дюйм. и $v = 2,87$ $\frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}$

Расчет же по графической таблице (при округлении диаметров до преданных размеров) дает:

для участка 5-2: $\underline{d} = 7$ дюйм и $\underline{v} = 2,3 \frac{\text{футы}}{\text{сек.}}$
и для участка 3-1: $\underline{d} = 10$ дюйм. и $\underline{v} = 2,8 \frac{\text{футы}}{\text{сек.}}$

Впрочем, такое соотношение результатов получается не при всяких условиях задания, вследствие неполноты формулы Dupuit. Так напр., при $\underline{Q} = 50000 \frac{\text{вед}}{\text{час.}}$, $\underline{L} = 1000$ саж. и $\underline{H} = 5$ саж. формула эта дает $\underline{d} = 16,8$ дюйм. и $\underline{v} = 3,92 \frac{\text{футы}}{\text{сек.}}$, а графическая таблица, являющаяся значительно более точной, указывает, что $\underline{d} = 16$ дюйм и $\underline{v} = 4,3 \frac{\text{футы}}{\text{сек.}}$

При двукратных обратных нахождении от $\underline{d}$ и определяющих $\underline{H}$ или $\underline{L}$, разница в результатах формулы еще существеннее.

Надо ли помнить все это говоря о том, какую помощь при расчетах представляет приложенная графическая таблица, пользование которой куда же проще и скорее, чем даже самой простой из аналитических формул, формулой Dupuit, не смотря на то, что в формуле этой, ради упрощения ее вида, допущен самый грубый способ выражения явления. приводящий к существенным погрешностям в результатах.

Общая условная раціонального начертанія свѣти и надлежащаго опредѣленія равнѣровъ ея элементовъ съ точки зрѣнія экономичности сооруженія.

Наши достигаются еще къ вопросу, который включили мы отчасти въ цѣль своего изслѣдованія, — вопроса объ условіяхъ наименьшей стоимости возведенія и эксплуатаціи свѣти водопроводныхъ трубъ.

Однако, замѣтимъ, что вопросъ этотъ не относится полностью къ задаваемъ съдѣлать расчетъ свѣти трубъ, а имѣетъ главнѣйшее образованіе значеніе при выборѣ начертанія, да къ тому же онъ такъ мало еще извѣстенъ и, должно сказать, настолько не приведенъ въ надлежащій порядокъ, что требовалъ бы весьма обильнаго, подробнаго изложенія, которое затѣмъ было бы главнымъ смысломъ этого изслѣдованія — дать основныя данныя для расчета свѣти трубъ. Вотъ, почему мы даемъ здѣсь лишь нѣкоторые общіе выводы теории наименьшей стоимости, пользуясь прекрасной статьей Dorschner'a, помѣщенной въ журналѣ „Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“ за 1889 годъ /стр. 365 и 411, статья „Über Rohrnetze“, къ которой и отсылаемъ желавшихъ

познакомиться ближе съ этими вопро-
сами¹⁾

Въ прошедшее время во всякой водопро-
водной сети можно было резко
различить главные или магистраль-
ныя вѣтви и отходящія отъ нихъ
второстепенныя отводныя. Въ
настоящее время, ради равномер-
ности работы всякаго участка водо-
провода, случается, что онъ претер-
пѣваетъ постоянныя измѣненія и
колебанія, и для гарантій водо-
снабжения въ случаяхъ несправ-
ностей и починокъ водопроводныхъ
трубъ, обыкновенно смыкаютъ кон-
цы всякаго этихъ вѣтвей, стремясь къ
тому, чтобы всякій пунктъ сети
получалъ воду съ двухъ сторонъ. Одна-
ко, и при такомъ способѣ начертаній

¹⁾ Можно указать еще на статьи слѣдую-
щихъ авторовъ, занимавшихся этими
вопросами:

Smreker (Zeits. d. Ver. deuts. Ing., 1889, S. 95)

Forckheimer (тоже все окурналь, 1890, стр. 679)

Willner (тоже все, стр. 103 и 150)

и Мелтке (тоже все, стр. 1008) (рѣшаетъ уравненіе 15^й сте-
пени, составленное Willner'омъ при помощи и сога-
риометрическаго метода).

свити при почти равном диаметре тру-
бы равных классов и извлекают,
вообще, равносильной свити труды
одинаковых диаметров. Причина,
этого, конечно, в экономичности
применения манометра. Дейст-
вительно, принимая, что цена
труды с укладного прямо пропор-
циональна кубу диаметра и зная,
что 2 трубы - одна диаметр:
ра 2, другая 2D - по расходу воды
равносильны паре одинаковых
труды с диаметрами в 1,62D каж-
дая, легко получаем, что стоимость
первой пары относится к стоимо-
сти второй, как $(1+2):(1,62+1,62)=1:1,08$.
Также точно, стоимость пары
труды диаметра 2 и 3D относит-
ся к стоимости пары одина-
ковых труды с тем же рас-
ходом воды, как $1:1,16$ и т. д.
Вообще, стоило бы, является вы-
годным применять общий мани-
струмента труды.

Из предположения о пропорцио-
нальности стоимости труды
ее диаметру, легко получить ряд
условий относительно равновесия
труды, а именно:

а) Если точки $\underline{A}$ и $\underline{B}$ расположены в некото-
 рой точке $\underline{Z}$ раздвинуться на
 дуги $\underline{DA}$ и $\underline{DB}$, одинакового расхода
 (фиг. 16), то угол α отклонения лег-
 ко определяется следующим искус-
 ственным приемом: для наимен-
 шей стоимости системы точка $\underline{Z}$
 должна быть так выбрана, чтобы
 силы, приложенные к ней по направ-
 лениям всех трех участков и
 по величине равные стоимости
 единицы длины каждого из них,
 находились в равнове-
 сии. Этот совершенно новый искусственный
 прием, сводящий многочисленные
 мало разработанные вопросы о
 наименьшей стоимости к весьма
 развитому учению об условиях равнове-
 сия сил, позволяет упростить
 выводы Форштейна¹⁾

¹⁾ Мы не даем здесь доказательства приведен-
 ного положения, так как исследование этого вопроса
 тогда и его многочисленных приложений состав-
 ляет предмет особой статьи, выпускаемой на-
 ми Кильдэ за силу под названием: "Вопросы
 наименьшей стоимости сооружений, решаемые
 при помощи условий равновесия
 сил."

Въ случаѣ фиг. 16, онъ дается:

$$D = 2 d \cos \alpha,$$

гдѣ D - диаметръ вѣтви CD и d - диаметръ вѣтвей DA и DB . Изъ этой пропорции находимъ, что:

$$\cos \alpha = \frac{D}{2d}$$

и, такъ какъ при одинаковой скорости течения въ вѣтвяхъ: $D^2 : d^2 = 2$ или $D = d \sqrt{2}$, то $\cos \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{2}$ и $\alpha = 45^\circ$.

Если, какъ это иногда встрѣчается, диаметръ $D = d$, то $\cos \alpha = \frac{1}{2}$ и $\alpha = 60^\circ$.

И такъ, стало быть, въ видахъ экономическихъ, уголъ между развѣтвленіями DA и DB (2α) долженъ заключаться, по возможности, въ предѣлахъ 90° до 120° , причемъ точная его величина опредѣляется сложными условиями.

в) Въ случаѣ развѣтвленія участка CD на три равныхъ части DA , DF и DB , применение условій равносильна снѣгъ приводитъ къ углу α , равному: 70° - при требованіи равныхъ скоростей для всѣхъ участковъ (условіе: $D - d = 2d \cos \alpha$)

и 90° - если, послѣ отбѣтвленія DA и DB , вѣтвь DF сохраняетъ диаметръ начальной вѣтви CD .

с) Въ случаѣ развѣтвленія, пока-

Законного ни при 12° , чем α получается равным:

65° при равных скоростях $[V_{\text{свобод}}:V=1/(1+\cos\alpha)]$ и 90° при одинаковых диаметрах ветвей CD и DF .

Относительно наилучшего на чертаниях сети надлежит заметить, что:

1) Водонапорный бак должен быть возмощено ближе к центру района водоснабжения и вообще ближе пунктов с наибольшим расходом и с наименьшим свободным напором.

2) Снабстроим сети осматривать по возвышенным частям района, причем получается более равномерная работа всех частей сети.

3) Потери напора от бака до конечной точки водоснабжения должны быть по направлению ветвей ветвей одинаковы.

Решение вопросов о выборе наилучших диаметров и скоростей для отводящих ветвей, Готтштейн основывает на двух, часто принимаемых в настоящее время, предположениях:

I) Стоимость Σ водопроводной трубы, с укладкой на место и засыпкой, прямо пропорциональна ее длине.

и коэффициенту, т. е.:

$$\underline{J} = K. d. L$$

и II) Стоимость $\underline{I}$ машин, насосов и капитализированный постоянный расход на эксплуатационные статьи пропорциональны, в общей сложности, дневному расходу воды водопроводом и преодоленной при ее доставке высоте напора, т. е.:

$$\underline{I} = k. H. Q$$

Исходя изъ этихъ положений Готтштейн рассматриваетъ отдельно: трубы, получающія воду подъ напоромъ естественнаго давления высокаго уровня, и трубы, работающія подъ напоромъ машинъ, насосовъ и т. п., т. е. требующія затраты механической движущей силы (таковы напрыскъ: напорныя трубы, доставляющія воду въ баки).

Для трубъ машиннаго поѣстественнаго напора; онъ опредѣляетъ условия наименьшей стоимости въ видѣ:

! Въ дальнейшихъ формулы приведены въ метрическихъ единицахъ, ради болѣе легкой отысканія ихъ въ статьяхъ Готтштейна иными, означенными поднаписями съ вопросомъ выше, и въ виду того, что для нашихъ цѣлей важнѣе лишь выражаемая ими идея.

$$d = C \cdot \frac{\sqrt[3]{Q}}{\sqrt[n]{n}}$$

$$\text{и } V = C_1 \cdot d \sqrt[n]{n} = C_2 \cdot \sqrt[3]{Q} \cdot \sqrt[n]{n},$$

где: n — число отдельных вьюев в данном ^(листе)
 Q — наибольший секундный расход воды
 в рассматриваемой вьюе, в куб. метр.,
 C , C_1 и C_2 — некоторые числовые коэф-
 фициенты и K — коэффициент стоимо-
 сти, упомянутый выше.

Эти формулы показывают, что диа-
 метры отдельных вьюев должны
 быть пропорциональны корню третьей
 степени из наибольшего расхода во-
 ды и обратно пропорциональны корню
 шестой степени из числа параллель-
 но расположенных трубок. При этом,
как видно подчеркивая то, что имеет
 место, особенно одремененный, а так
 же в листах временного соедине-
 ния параллельных вьюев, должны
 быть равными, ввиду выго-
 ды применения трубок возможно больша-
 го диаметра.

В случае искусственного напора,
 когда приходится поминать о эконо-
 мичности его поддержания, усло-
 вие наименьшей стоимости приво-

даны к выражениям:

$$d' = 1,50 \frac{\kappa}{K} d^3$$

$$\text{и } V = 1,25 \frac{d}{d'} = 0,125 \sqrt[3]{\frac{K}{\kappa}},$$

где K и κ — коэффициенты сопротивления, объясненные раньше.

Подставляя K и κ , определенные для закладной Ирманин, Форхрейтер получает невыгоднейшую скорость:

$$V = 0,125 \sqrt[3]{60 \text{ мар.} : 1,2 \text{ мар.}} = 0,46 \frac{\text{метр.}}{\text{сек.}} \left(1,5 \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}} \right).$$

В этом случае особенно важно для экономии надлежащее определение диаметров. Не следует забывать также, что потери напора в равных ветвях, отходящих от одной точки, должны быть равны.

Если главная ветвь длиннее всего, то соответственно на все большее и большее число равных между собой ветвей, скорости в каждой из них должны отвечать тому же условию $V = 0,125 \sqrt[3]{K : \kappa}$.

Для трубы, расходующей воду равномерно по своей длине, невыгоднейшая скорость в каждой точке отливается условием: $V = 0,125 \sqrt[3]{K(l-x) : \kappa l}$, где l — длина. Если следовательно от 0,125 $\sqrt[3]{K : \kappa}$ (начало участка) до нуля (конец участка). В рассуждениях системы равномерно

равнодействующая равновъзвешеній, законъ
измѣненія скорости остается тѣмъ же.

Кромѣ того, въ статьѣ Босккелера ра-
ботаны наивыгоднѣйшія условія соору-
женія водопроводовъ при постоянномъ ро-
тѣ населенія города, опредѣляющія до ка-
кой степени выгодно принимать во вни-
маніе для будущаго постоянное возраста-
ніе потребности въ водѣ.

Къ заключеніямъ Босккелера относи-
тельно внѣшнихъ условій накрѣпленія стѣн
можно добавить, что въ случаѣ, если кон-
цы отдѣльныхъ равновъзвешеній лежатъ на
равной высотѣ (этотъ выводъ не касается вто-
ро случая), то водопроводъ уземъ равновъзвешеній
долженъ лежать вблизи къ тому месту
въ основаніи, которое расположено выше.

Небезынтересно еще привести формулу
наивыгоднѣйшаго діаметра для задан-
ной напорной трубы, подсчитанную для
русскихъ штуръ Проф. Тимошевичъ:

$$d = \sqrt[6]{4,985 \frac{C}{K} \left(f + 19,71 \frac{n \cdot w}{p \cdot s} \right) \sqrt{q}}$$

гдѣ d - искомый діаметръ напорной
трубы (въ сѣч. см.)

C - численный коэффициентъ форму-

¹⁾ Механическій способъ вычисленія потерь напора"
Строитель 1897, №21-22, стр. 863.

ам. Центр. (принимается) Проф. Тимко-
вым при нормальных условиях
водопроводной сети трудъ въ 0,0009/

K — стоимость (въ рудникахъ) каждого
фута диаметра насосной въ Земле
труды, длина которой равна 1^{му} футу (для
диаметра около 16" напр. K = 6 руб.)

F — Стоимость (въ рудникахъ) 1^{ой} полевой
паровой силы водоподъемныхъ машинъ
данной силы и системы, съ доставкой
на место (Проф. Тимковъ принимаетъ
F = 400 руб.)

N — число часовъ равномернаго нака-
чивания воды в течение сутокъ.

W — Стоимость (въ копѣйкахъ) 1^{ой} пуда
каменнаго угля.

p — число годовыхъ процентовъ, по кото-
рымъ заемный капиталъ извѣрованъ по
ходу по эксплуатации насосовъ.

S — продуктивность (duty) данной
машинъ, т. е. число миллионныхъ фунтовъ
работы, сдѣланное 100 фунтами каменнаго
угля (При машинахъ хорошей конструк-
ции можно принимать S = 60 миллио-
новъ фунтовъ)

u и q — секундный расходъ воды въ куб. фу-
тахъ.

Принимая для примѣра K = 6, F = 400, N = 14,
W = 21, p = 4, S = 60 милл. и q = 6, Проф. Тимковъ

получает наибольшим диаметр:

$$d = 1,88 \text{ фута} = 22,5 \text{ дюймов.}$$

и соответствующую скорость $v = 2,27 \text{ фута.}$

Этимъ възвысивъ обзоръ съе ограни-
чиваемъ рассмотрение условий наимен-
шей стоимости сооружения и эксплоа-
тации водопроводной сѣти трудъ. Бывъ
можетъ, съдовольство переработать са-
мый ходъ расчета сѣти, принятый до
сихъ поръ, и составить равныя вспомо-
гательныя таблицы для вычислений, по-
ложивъ въ основаніе ихъ эти условія для
практики условия экономичности. Однако,
съе предпои не сходятъ еще съ обще-при-
нятого пути, и вотъ, почему именно:

1) Условия экономичности сѣти не получи-
ли пока настолько измѣнаго и удобнаго ма-
тематическаго выраженія, что бы при-
имѣненіе ихъ даило достаточно удобныя
для практики формулы расчета; слож-
ность расчета повлекла бы за собой неми-
нуемо его непригодность.

и 2) Формулы наименьшей стоимости
используются, главнымъ образомъ, на
зависима не точномъ выраженіи Дарри,
остаивающіяся на которыхъ окон-
чательно было конечно нежелательнымъ.

Нельзя сказать, однако, что дальнейшее развитие водопроводнаго дѣла, укажетъ на необходимость удобную и вѣрную къ действительности формулу движенія воды по трубамъ, захватить въ границы расчета и выраженія наименьшей стоимости возведенія и содержанія водопроводной сети трудъ и расширить сферу рациональнаго ея расчета, вѣтъ ли въ упомянутельные методы рѣшенный случайнымъ попытками. Но дѣло будущаго. Но крайней мѣрѣ, до сихъ поръ предложенные расчеты, основанные на наименьшей стоимости, весьма громоздки и неудобны.

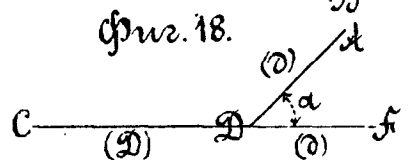
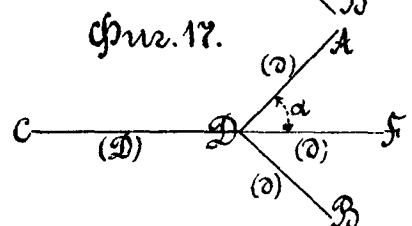
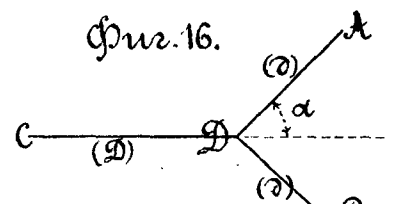
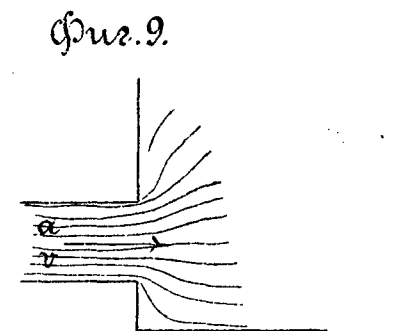
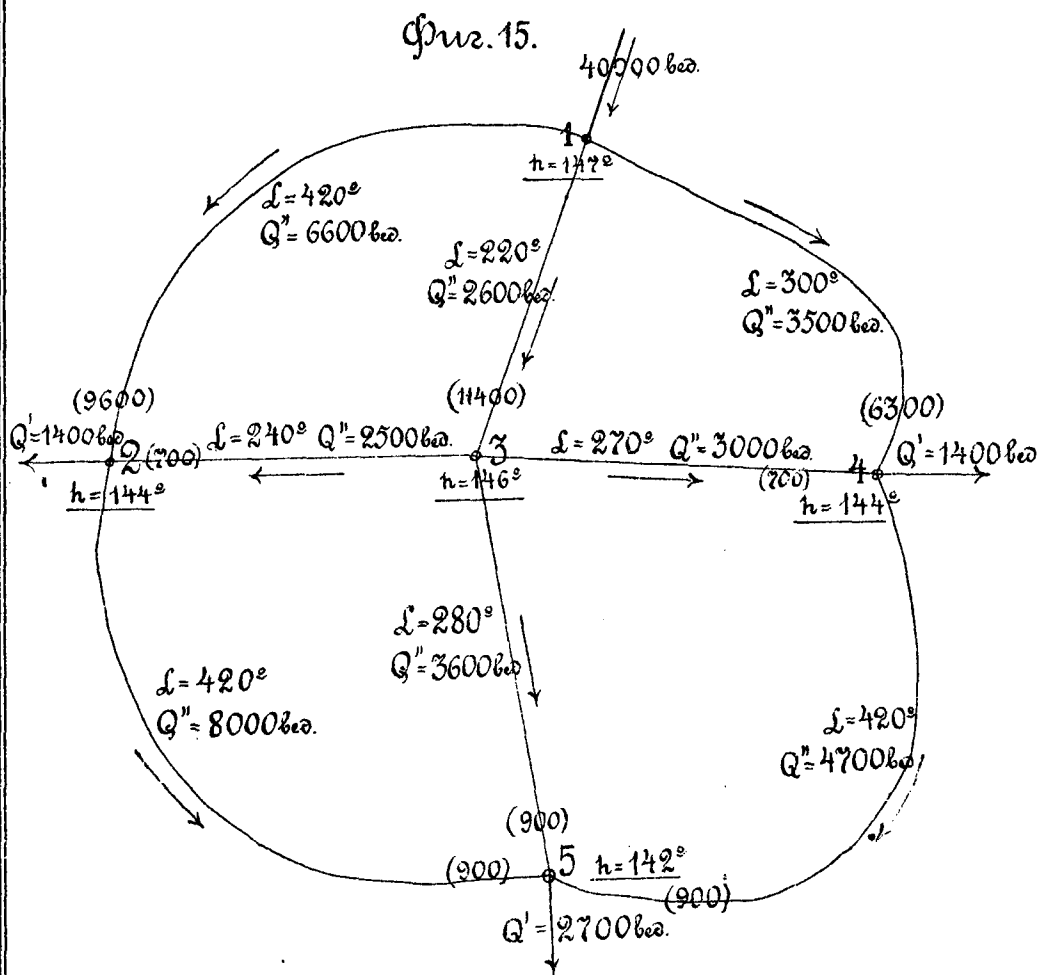
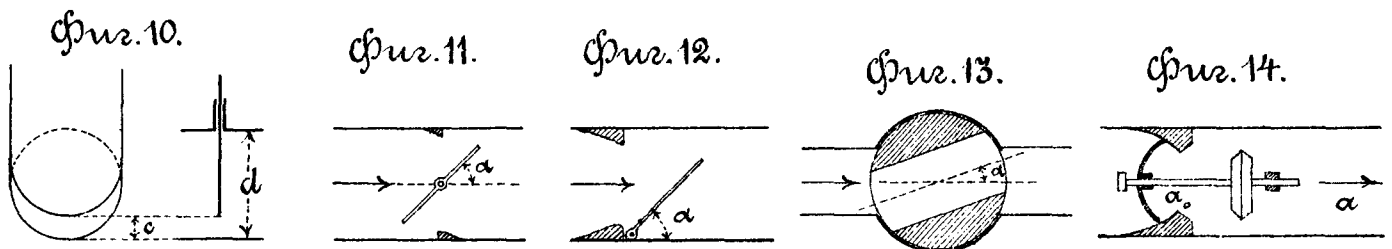
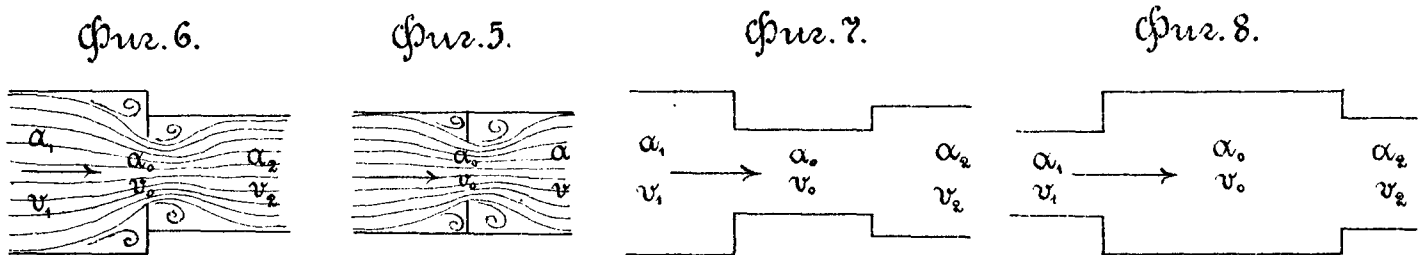
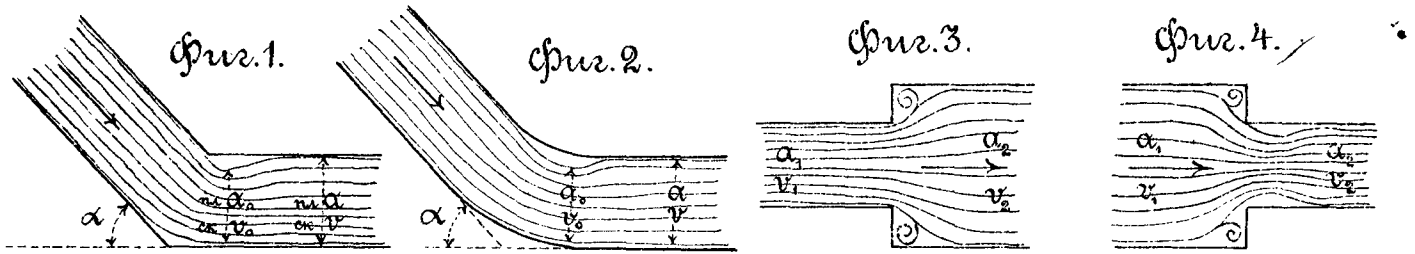
Ан. Саткевичъ.

1898 годъ, Апрель.
С-Петербургъ.

Къ проекту
ВОДОПРОВОДА

Приложение №.....

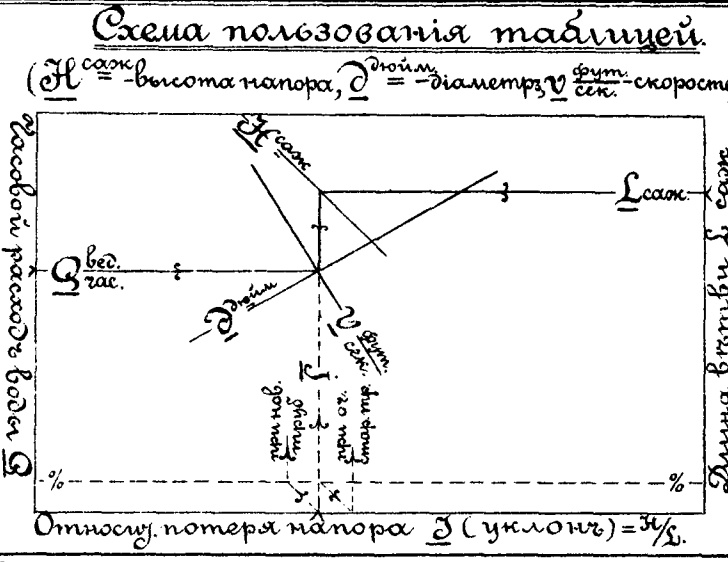
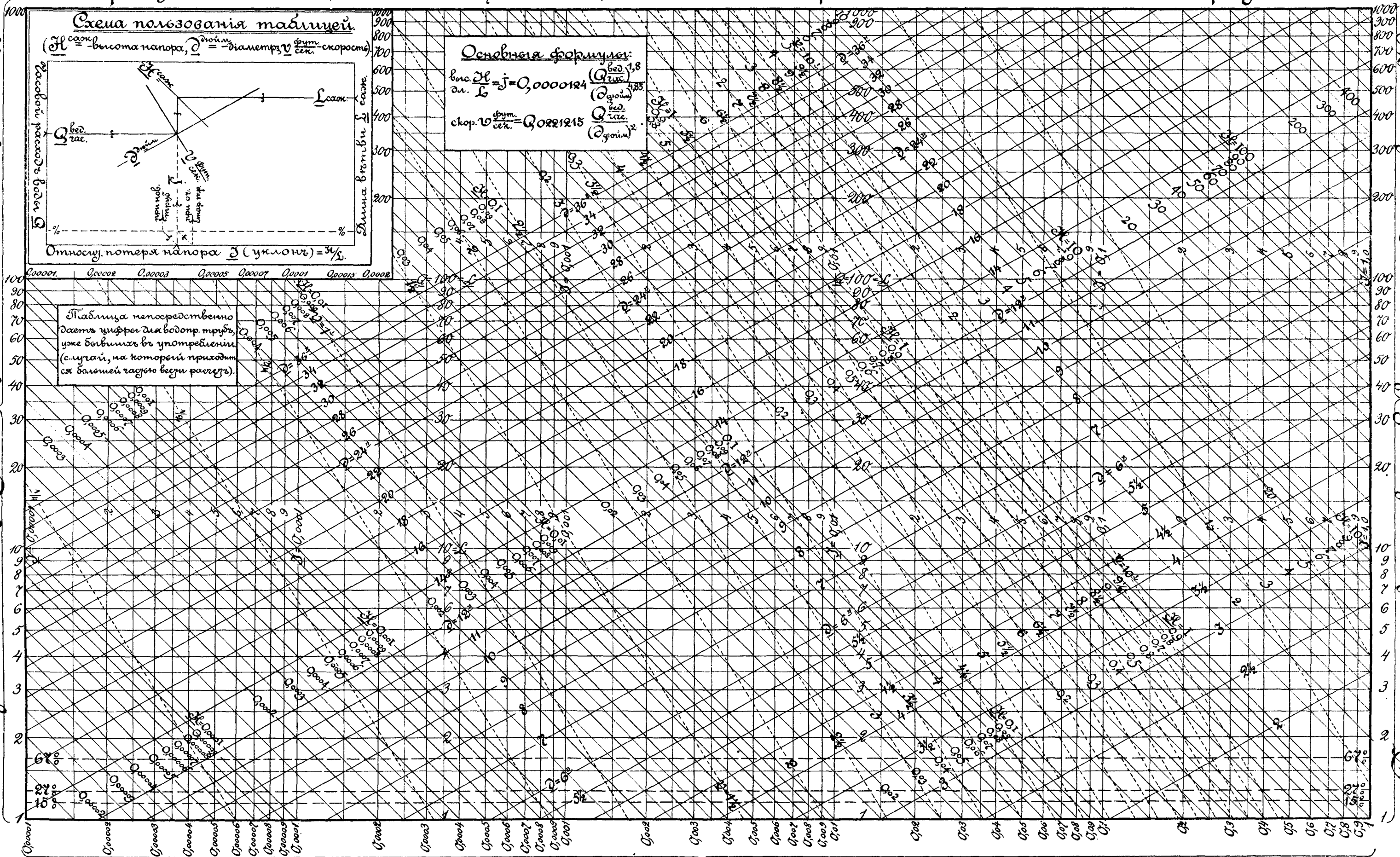
РАСЧЕТЪ
СѢТИ ТРУБЪ.



Графическая таблица для расчета водопроводной сети труб.

Расход воды Q в м³/сек

Длина в м и в км



Основные формулы:

выс. H в м $H = J \cdot L$

ди. D в мм $D = 100 \cdot \sqrt[5]{\frac{Q \cdot L}{J}}$

скор. v в м/сек $v = 0.221215 \cdot \sqrt[5]{\frac{Q \cdot L}{J}}$

Таблица непосредственно дает цифры для водопр. труб, уже бывших в употреблении (случай, на который приходится большая часть всех расчетов).

Относительная потеря напора J (потеря на единицу длины) или гидравлический уклон в пром.