

Инженеръ Д. Н. Вѣликовъ.

ОБЪ ОПРЕДѢЛЕНІИ
ПОТЕРИ НАПОРА

ВЪ ВОДОПРОВОДНЫХЪ ТРУБАХЪ.

ДОКЛАДЪ
ПЯТОМУ РУССКОМУ ВОДОПРОВОДНОМУ СЪѢЗДУ,

бывшему въ Кіевѣ, въ мартѣ 1901 года.


МОСКВА.

Типо-литографія Т-на Н. Н. Кушнеревъ и К^о, Писемновская ул., соб. д.

1902.

Объ опредѣленіи

потери напора въ водопроводныхъ трубахъ.

Вопросъ объ опредѣленіи потери напора въ водопроводныхъ трубахъ хотя и носятъ теоретическій характеръ, тѣмъ не менѣе онъ очень близко соприкасается съ практикой водопроводнаго дѣла, въ особенности съ его экономической стороной.

Дѣло въ томъ, что стойкость всякаго сооруженія, а водопроводнаго въ особенности (если принять во вниманіе скудную наличность свободныхъ средствъ большинства русскихъ городовъ), играетъ весьма важную роль при проектированіи и устройствѣ водоснабженія.

Правильное рѣшеніе поставленной задачи возможно, конечно, только въ томъ случаѣ, когда въ основу расчета будутъ приняты твердо установленныя положенія, не допускающія ни малѣйшаго произвола. Между тѣмъ въ практикѣ нерѣдко приходится сталкиваться съ вѣвполнѣ обоснованными данными, позволяющими давать имъ иногда довольно широкое толкованію, и какъ на примѣръ я имѣю въ виду указать на эмпирическія формулы опредѣленія потери напора въ водопроводныхъ трубахъ, которыя кладутся въ основу расчета какъ отдѣльныхъ магистралей, такъ и цѣлой водопроводной сѣти.

Насколько важно строгое обоснованіе въ этомъ направленіи, можетъ оцѣнить всякій, кому приходилось сталкиваться съ проектированіемъ сѣти городскихъ водопроводовъ, такъ какъ нѣкоторый просторъ въ выборѣ основной формулы потери напора въ водопроводныхъ трубахъ отражается нерѣдко разностью въ нѣсколько десятковъ тысячъ на общую стоимость всего сооруженія.

Теоретическая сторона вопроса о потерѣ напора уже давно привлекала къ себѣ вниманіе многихъ теоретиковъ и экспериментаторовъ в разработана въ настоящее время настолько, что позволяетъ, по крайней мѣрѣ, установить тѣ предѣлы, между которыми колеблутся результаты примѣненія данныхъ того или другого автора.

Въ числѣ первыхъ изслѣдованій въ этомъ направленіи необходимо признать работу Couplet «Des recherches sur le mouvement des eaux dans les tuyaux de conduite», опубликованную имъ въ 1724 году въ мемуарахъ Парижской Академіи Наукъ. Затѣмъ въ 1728 году въ тѣхъ же мемуарахъ была помещена работа Pitot, въ которой впервые была высказана мысль, что сопротивленіе, развивающееся при движеніи воды въ трубахъ, находится въ обратной зависимости къ ихъ диаметру. Сознавая всю важность экспериментальнаго изслѣдованія, Couplet не остановился на однихъ только теоретическихъ соображеніяхъ, и опубликовалъ въ 1732 году предпринятый имъ рядъ опытовъ надъ двумя чугунными водопроводными магистральями, изъ когорыхъ одна была проложена отъ мѣстечка Marly въ Версаль діаметромъ 0,43 mt ($\cong 19''$) и длиной 1.169 mt.; другая же діаметромъ 0,133 mt. ($\cong 5\frac{1}{2}''$) и длиной 2.280 mt. Къ сожалѣнію, опыты эти были не особенно многочисленны, чтобы можно было положить ихъ въ основу какой-либо теоріи, какъ то пытался сдѣлать Couplet, а послѣ него Belidor.

Несравненно большее значеніе имѣютъ работы Bossut, произведенныя вмѣ со специально приготовленными для этихъ опытовъ трубами изъ листового луженаго желѣза. Какъ ни были удовлетворительны добытые результаты, тѣмъ не менѣе Bossut не рѣшился воспользоваться ими для вывода математическаго выраженія потери напора и рекомендовалъ ихъ только какъ нѣкоторое указаніе при разрѣшеніи аналогичныхъ вопросовъ практики.

Первое эмпирическое выраженіе потери напора было дано Dubuat, который предпринялъ новый рядъ опытовъ, чтобы съ одной стороны дополнить работы Couplet в Bossut, а съ другой стороны установить зависимость между отдѣльными элементами, обуславливающую потерю напора при движеніи воды по трубамъ. Численные коэффициенты данной имъ формулы

были определены изъ 89 наблюдений, изъ которыхъ 56 принадлежали лично ему, 26—Bossut и 7—Couplet.

Слѣдующимъ по времени изслѣдователемъ этого вопроса былъ Chezy, опубликовавшій въ 1775 году свою статью о сопротивленіи воды отъ тренія, впервые давшій логарионическое выраженіе потери напора. Недостатки формулы, предложенной Dubuat, побудили изслѣдователей искать болѣе удобнаго въ практическомъ отношеніи выраженія потери напора; такъ, примѣръ, въ 1790 году Woltmann указалъ соотношеніе, въ достаточной степени упрощавшее его примѣненіе. Eytelwein пошелъ еще далѣе и въ 1796 году далъ новую формулу, исходя изъ общихъ принциповъ гидравлики и пользуясь результатами 51 опыта, произведенныхъ Couplet, Bossut и Dubuat.

Придерживаясь хронологическаго порядка въ развитіи научныхъ свѣдѣній по вопросу о сопротивленіи воды при движеніи ея по трубамъ, необходимо указать на изслѣдованія Gerstner'a, опубликованныя въ 1798 году, Coulomb'a — въ 1800 и Young'a—въ 1808, не мало способствовавшія уясненію сущности разсматриваемаго явленія. Опыты Gerstner'a и изысканія Young'a касались главнымъ образомъ вліянія температуры на движеніе воды въ трубахъ, при чемъ было выяснено, что повышеніе ея всегда отзывается на увеличеніи скорости движенія при опредѣленной потерѣ напора, или обратно:—на уменьшеніи потери напора при постоянной скорости; впрочемъ, найденное соотношеніе обнаруживается болѣе или менѣе рѣзко только для трубъ весьма незначительныхъ діаметровъ.

Ргону въ 1802 году значительно подвинулъ впередъ вопросъ о потерѣ напора въ трубахъ; положивъ въ основаніе своихъ изысканій результаты 51 опыта Eytelwein'a и обработавъ ихъ по методу Лапласа, далъ выраженіе, долго служившее для практвковъ руководящимъ указаніемъ въ этой области ¹⁾.

Двѣнадцать лѣтъ спустя, а именно въ 1814 году, Eytelwein предложилъ нѣсколько измѣнить формулу Ргону, всходя изъ того соображенія, что она не предусматриваетъ сжатія струи, имѣющаго мѣсто при вступленіи массы воды изъ резервуара въ отводящую трубу.

¹⁾ Prony. Résumé de la théorie et des formules relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux et les canaux. 1825.

Послѣдующія работы въ этонъ направленіи были выполнены Gueymard'омъ ¹⁾ и носили главнымъ образомъ опытный характеръ. Особенно интересны его наблюденія, произведенныя въ Греноблѣ, надъ опредѣленіемъ потери напора въ главной магистрали мѣстнаго водопровода.

Болѣе обширный рядъ опытовъ былъ предпринятъ D'Abuissou'омъ, въ 1830 году въ Тулузѣ, надъ чугунными водопроводными трубами діаметромъ въ 80 мм., 90 мм., 120 мм., 160 мм. и 270 мм. (отъ $\infty 3''$ до $\infty 11''$) и длиною отъ 100 до 600 mt., и, опираясь на извѣстные уже опыты Couplet, далъ новое выраженіе потери напора, нѣсколько отличное отъ формулы Eytelwein'a.

Почти одновременно съ D'Abuissou'омъ, а именно въ 1830 г., Hagen сталъ производить опыты надъ потерей напора при движеніи жидкости по трубамъ весьма незначительныхъ размѣровъ: отъ $2\frac{1}{2}$ мм. до 6 мм. діаметромъ и длиною отъ $\frac{1}{2}$ mt. до 1 mt., при чемъ при позднѣйшихъ изслѣдованіяхъ имъ указано также и вліяніе температуры. Что же касается теоретическихъ соображеній по вопросу о потерѣ напора, то онъ въ своемъ сочиненіи «Handbuch der Wasserbaukunst», появившемся значительно позднѣе, а именно въ 1854 году, снова возвращается къ тѣмъ указаніямъ, которыя были высказаны первоначально Woltmann'омъ и Provis ²⁾. Нѣсколько позднѣе, а именно въ 1840 году, надъ тѣмъ же вопросомъ много потрудился Weisbach, который, воспользовавшись 52 опытами Couplet, Bossut, Dubuat, Gueymard'a и дополнивъ ихъ 11 своими наблюденіями, составилъ также выраженіе потери напора, которое довольно часто примѣняется въ практикѣ.

Несравненно большаго вниманія заслуживаетъ формула, предложенная французскимъ инженеромъ St.-Venant'омъ, подкупающая какъ своей простотой, такъ и весьма точнымъ совпадениемъ численныхъ ея значеній съ опытными данными.

Въ 1844 году появляется работа Fourneyron'a ³⁾ и Poiseuille. Послѣдній имѣлъ въ виду главнымъ образомъ изученіе зако-

¹⁾ Gueymard. Sur la conduite des eaux dans les tuyaux cylindriques. 1829.

²⁾ Provis. Transaction of the Institution of Civil Engineers. 1838.

³⁾ Fourneyron. Table pour faciliter les calculs des formules relatives au mouvement des eaux dans les tuyaux des conduits.

новъ движенія крови по кровеноснымъ сосудамъ, а потому серія его опытовъ касается только движенія жидкости въ капиллярныхъ трубкахъ діаметромъ отъ $0,01399$ мм. до $0,6522$ мм. и длиною отъ 2 мм. до 1 мт. При этихъ опытахъ было принято во вниманіе также и вліяніе температуры, которое при незначительныхъ діаметрахъ весьма существенно.

Наиболѣе богатые по своей численности и разнообразію опыты надъ опредѣленіемъ величины потери напора въ водопроводныхъ трубахъ, приготовленныхъ изъ различныхъ матеріаловъ, какъ-то чугуна, желѣза, свинца и стекла, были произведены въ 1850—1851 году Darcy, на насосной станціи Chaillot въ Парижѣ. Опыты надъ чугунными трубами были произведены особенно обстоятельно, такъ какъ для наблюдений трубы брались при различныхъ состояніяхъ ихъ внутренней поверхности, т.-е. какъ совершенно чистыя, такъ и покрытыя весьма толстымъ слоемъ инкрустаціонныхъ отложеній. Наблюденія производились надъ 22 трубами, съ діаметромъ отъ $0,018$ мт. ($\cong 1/2''$), до $0,500$ мт. ($\cong 20''$) и длиною въ 100 мт., и были опубликованы Darcy въ 1856 году въ его извѣстномъ сочиненіи: «Recherches expérimentales relatives au mouvement des eaux dans les tuyaux».

Изъ послѣдующихъ работъ въ этомъ направленіи необходимо отмѣтить труды Hennesy ¹⁾, Zeuner'a ²⁾, Leslie ³⁾, Gankler'a ⁴⁾ и Schlotter'a ⁵⁾. Нѣсколько большаго вниманія заслуживаютъ опыты Lampe, опубликованные имъ въ 1873 году въ его сочиненіи «Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren» и производившіеся въ 1870 году надъ главной магистралью водопровода въ Данцигѣ, имѣвшей діаметръ $0,418$ мт. ($\cong 16''$) и длину 14.123 мт. Данная имъ формула, выработанная согласно указанію Voltmann'a, нерѣдко пользуется вниманіемъ практиковъ благодаря своей удопримѣняемости.

Затѣмъ, придерживаясь хронологическаго порядка, необхо-

1) Hennesy. Bewegung des Wassers durch Röhren. 1854.

2) Zeuner. Bewegung des Wassers in Rohrleitungen bei kleinen Druckhöhen. 1854.

3) Leslie. Ueber den Durchfluss des Wassers durch Röhren. 1855.

4) Gauckler. Bewegung des Wassers in Röhren. 1868.

5) Schlotter. Ueber die Bewegung des Wassers in Leitungsröhren. 1871.

димо указать на работы Fliegner'a ¹⁾, Lüger'a ²⁾, Tumlriz'a ³⁾, Unwin'a ⁴⁾, Frank'a ⁵⁾ и Vallot ⁶⁾.

Большинство из вышеприведенных авторов, резюмируя результаты произведенных ими опытных исследований, дают эмпирические формулы, выражающие связь между главными элементами, т.-е. между диаметром, скоростью и потерянными напором.

Общий характер всех этих формул может быть сведен к следующим двум формам, по существу своему тождественным между собою. Первая из них представляет зависимость между скоростью, потерей напора на единицу длины и средним гидравлическим радиусом и может быть представлена в следующем виде: $v = c \sqrt{ri}$, где c есть некоторый численный коэффициент; другая же представляет величину потерянного напора как некоторую функцию скорости. Для иллюстрации указанных двух форм выражения потери напора в трубах приведем несколько наиболее типичных формул.

Т а б л и ц а

формулы потери напора в водопроводных трубах.

	Фамилия автора.	Выражение формулы.
1	Du-Buat	$v = \frac{88,3 (\sqrt{r} - 0,03)}{\sqrt{i - \text{hyp. log } \sqrt{i + 1,6}}} - 0,034 (\sqrt{r} - 0,03)$
2	Prony	$v = \sqrt{9419,73 ri + 0,00063} - 0,0316$
3	Prony	$v = \sqrt{9978,76 ri + 0,00375} - 0,13412$
4	Chezy	$v = \sqrt{\frac{2g}{m} \cdot ri}$

¹⁾ Fliegner. Widerstand des Wassers in geraden Röhren. 1875.

²⁾ Lüger. Ueber Druckverluste in Rohrleitungen. 1881.

³⁾ Tumlriz. Ueber das Fliessen einer inkompressiblen Flüssigkeiten durch Röhren kreisförmigen Querschnittes von beliebiger Gestalt. 1886.

⁴⁾ Unwin. Flow of water in pipes. 1886.

⁵⁾ Frank. Berechnung der Kanäle und Rohrleitungen. 1886.

⁶⁾ Vallot. Mouvement de l'eau dans les tuyaux circulaires. 1888.

	Фамилія автора.	Выраженіе формулы.
5	Eytelwein	$v = \sqrt{11703,95 ri + 0,01698} - 0,1308$
6	Eytelwein	$v = 50 \sqrt{\frac{2ri}{1 + 100 \frac{r}{i}}}$
7	Leslie	$v = 100 \sqrt{ri}$
8	D'Abuisson	$v = \sqrt{9579 ri + 0,00813} - 0,0902$
9	D'Abuisson	$v = 95,6 \sqrt{ri}$
10	Nevill	$v = \sqrt{\frac{ri}{0,0234 \cdot \frac{r}{i} + 0,0001085}}$
11	Nevill	$v = \left(140 - \frac{11}{\sqrt{ri}}\right) \sqrt{ri}$
12	Darcy	$v = \sqrt{\frac{ri}{0,00007726 + \frac{0,00000162}{r}}}$
13	Blackwell	$v = 47,913 \sqrt{2ri}$
14	Jakson	$v = 50,9 \sqrt{2ri}$
15	Hawksley	$v = 48,003 \sqrt{\frac{2ri}{1 + 108 \frac{r}{i}}}$
16	Fanning	$v = \sqrt{\frac{2g}{2m + 1,3 \frac{v}{i}} \sqrt{ri}}$
17	Ganguillet-Kutter	$v = \frac{1,4914 + 41,49 + \frac{0,00281}{i}}{1 + \left(41,49 + \frac{0,00281}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{r}}} \cdot \sqrt{ri}$
18	Molesworth ¹⁾	$v = \frac{183,72}{1 + 44,41 \cdot \frac{n}{\sqrt{r}}} \cdot \sqrt{ri}$

1) Формулы Molesworth'a и Flynn'a представляют видоизмѣненія формулы Ganguillet и Kutter'a.

Фамилия автора.	Выражение формулы.
19 Flynn ¹⁾	$v = \frac{181 + \frac{0,8281}{i}}{1 + \frac{0,026}{\sqrt{d}} \left(41,0 + \frac{0,00881}{i} \right)} \cdot \sqrt{ri}$
20 Poncelet ²⁾	$v = 47,95 \sqrt{\frac{2ri}{\left(1 + 108 \frac{r}{l} \right)^{\frac{1}{2}}}}$
21 Francis ³⁾	$v = \frac{24}{\sqrt{0,1968 + \frac{0,0082}{v}}} \cdot \sqrt{ri}$
22 Kirkwood ⁴⁾	$v = 80 \sqrt{ri}$
23 Hughes ⁵⁾	$v = 70,71 \sqrt{ri}$
24 Beardmore	$v = 94,20 \sqrt{ri}$
25 Dwyer	$v = 94,51 \sqrt{ri}$
26 Young	$v = 84,3 \sqrt{ri}$
27 Provis	$v = \{ 60 (1 + 2 \sqrt[6]{ri}) \} \cdot \sqrt{ri}.$
28 Lévy ⁶⁾	$v = \{ 36,1 (1 + 3 \sqrt[3]{ri})^{\frac{1}{2}} \} \cdot \sqrt{ri}.$
29 Lévy	$v = \{ 20,8 (1 + 3 \sqrt[3]{ri})^{\frac{1}{2}} \} \cdot \sqrt{ri}.$

1) Flynn. Flow of water in irrigations canals, ditches, flumes, pipes, conduits etc.

2) Формула Poncelet почти тождественна съ формулой Hawksley и отличается только нѣсколько меньшимъ численнымъ коэффициентомъ.

3) Формула Francis'a является видоизмѣненіемъ формулы Darcy и была предложена для старыхъ чугунныхъ трубъ, покрытыхъ осадками.

4) Для старыхъ, сильно загрязненныхъ трубъ и покрытыхъ внутри наростами.

5) Hughes. A treatise on waterworks for the supply of cities and towns.

6) Provis. Transaction of the Institution of Civil Engineers. 1838.

Численные коэффициенты въ вышеприведенныхъ формулахъ даны при скорости и среднемъ гидравлическомъ радиусѣ, выражающихся въ футахъ; исключеніе составляетъ формула Lévy, данная для тѣхъ же элементовъ, но выраженныхъ въ метрахъ.

Другой типъ формулъ потери напора въ трубахъ можетъ быть представленъ въ слѣдующей формѣ:

$$h = m \cdot \frac{v^2}{2g},$$

гдѣ $\frac{v^2}{2g}$ величина скоростного напора, а m —коэффициентъ потери. Последний обыкновенно разлагается на двѣ части: $m = \lambda \cdot \frac{l}{d}$, гдѣ λ —коэффициентъ тренія воды о стѣнки водопроводной трубы (трение частицъ воды между собою сравнительно очень мало, а потому также входитъ въ эту величину). Величину коэффициента тренія λ одни изъ изслѣдователей ставятъ въ зависимость отъ скорости, другіе—отъ діаметра, а третьи—какъ отъ одного, такъ и отъ другого; нѣкоторые же, какъ на примѣръ Dageu, вводятъ еще коэффициенты «шероховатости» или «сопротивляемости», т.-е. устанавливаютъ, такимъ образомъ, связь между коэффициентомъ тренія и внутреннимъ состояніемъ трубы.

Т а б л и ц а

формулъ потери напора въ водопроводныхъ трубахъ.

	Фамилія автора.	Выраженіе формулы.
1	D'Abuissou	$h = \left(0,0011771 + \frac{0,00000000}{v} \right) \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
2	Eytelwein	$h = \left(0,001754 + \frac{0,0013000}{v} \right) \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
3	Prony	$h = \left(0,0273346 + \frac{0,0013007}{v} \right) \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
4	Weisbach	$h = \left(0,01130 + \frac{0,0000711}{\sqrt{v}} \right) \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$

	Фамилия автора.	Выраженіе формулы.
5	S.-Venant	$h = \left(0,02197 \cdot v^{-\frac{2}{7}} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
6	Hagen ¹⁾	$h = \left(0,02377 + \frac{0,00011519}{v \cdot d} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
7	Darcy ²⁾	$h = \left(0,01389 + \frac{0,000573}{d} \right) \cdot \sigma \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
8	Lampe	$h = 0,01623 \cdot \frac{1}{d^{1,25}} \cdot \frac{v^{1,802}}{2g}$
9	Zeuner	$h = \left(0,014312 + \frac{0,010327}{\sqrt{v}} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
10	Dupuit	$h = 0,03023 \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
11	Smith	$h = \left(0,0132 + \frac{0,009}{\sqrt{v}} + \frac{0,00011}{d\sqrt{v}} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
12	Smith ³⁾	$h = \left(0,0238 + \frac{0,009}{\sqrt{v}} + \frac{0,00011}{d\sqrt{v}} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
13	Gauckler	$h = 0,02144 \left(1 + \frac{d}{4 \cdot \sqrt[4]{v}} \right)^4 \cdot \frac{1}{d^{\frac{4}{5}}} \cdot \frac{v^2}{2g}$
14	Weston ⁴⁾	$h = \left(0,0128 + \frac{0,0173 - 0,1023 d}{\sqrt{v}} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
15	Weston ⁵⁾	$h = \left(0,03978 + \frac{0,01}{d} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
16	Weston ⁶⁾	$h = \left(0,0136 + \frac{0,023}{d} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$

¹⁾ Формула Хаген'а предусматривает также и влияние температуры, но въ виду того, что оно ничтожно мало и орактическаго значенія не имѣетъ, по крайней мѣрѣ въ водопроводномъ дѣлѣ, эта формула приведена здѣсь въ упрощенномъ видѣ.

²⁾ Входящій въ эту формулу множитель σ есть коэффициентъ шероховатости, который Дарси совѣтуетъ брать въ предѣлахъ отъ 1 до 2, при чемъ 1 берется для новыхъ, совершенно гладкихъ трубъ; для старыхъ же, покрытыхъ внутри болѣе или хенѣе значительнымъ слоемъ твердыхъ отложений, коэффициентъ σ берется равнымъ 2.

³⁾ Для трубъ покрытыхъ осадками.

⁴⁾ Для гладкихъ и чистыхъ трубъ.

⁵⁾ Для трубъ, покрытыхъ незначительнымъ слоемъ осадковъ.

⁶⁾ Для трубъ, діаметромъ $1 < 0,50$ mt., покрытыхъ толстымъ слоемъ осадковъ.

	Фамилія автора.	Выраженіе формулы.
17	Weston ¹⁾	$h = \left(\frac{0,048}{v} - 0,0143 \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
18	Weston ²⁾	$h = \left(\frac{0,035}{v} - 0,0225 \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
19	Vallot	$h = 0,02968 \cdot \frac{1}{d^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{v^2}{2g}$
20	Lang ³⁾	$h = \left(0,02 + \frac{0,004}{\sqrt{v}} \right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$
21	Manning	$h = 0,06121 \cdot \frac{1}{d^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{v^2}{2g}$
22	Frank	$h = (0,02237 + 0,04022 \sqrt{d}) \cdot \frac{1}{d^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{v^2}{2g}$
23	Flamant	$h = 0,01805 \cdot \frac{1}{d^{\frac{3}{4}}} \cdot \frac{v^{\frac{7}{4}}}{2g}$
24	Assoc. Eng. ⁴⁾	$h = 0,014876 \cdot \frac{1}{d^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{v^{\frac{11}{4}}}{2g}$

Разсматривая цѣлый рядъ вышеприведенныхъ формулъ, выражающихъ потерю напора въ водопроводныхъ трубахъ, волей-неволей приходится придти къ заключенію, что опѣ не

1) Для трубъ діаметромъ отъ 0,500 mt. до 0,920 mt., покрытыхъ толстымъ слоемъ осадковъ, дающая наибольшее значеніе.

2) Для трубъ діаметромъ отъ 0,500 mt. до 0,920 mt., покрытыхъ тонкимъ слоемъ осадковъ, дающая наименьшее значеніе.

3) Otto Iben нѣсколько видоизмѣняетъ формулу Lang'a, оставляя коэффициентъ 0,004 постояннымъ, а коэффициентъ 0,02 измѣняя соответственно діаметру по слѣдующей таблицѣ:

Діаметръ	0,036	0,060	0,213	0,297
Коэффициентъ	0,074	0,048	0,026	0,025

4) Приводимая здѣсь формула помѣщена въ Journal of the Association of Engineering Societies, June. 1894.

Эта формула даетъ среднія значенія для новыхъ асфальтированныхъ чугунныхъ трубъ.

только не дают болѣе или менѣе удовлетворительнаго согласованія между собою, но нерѣдко совершенно противорѣчатъ тому, что наблюдается въ дѣйствительности.

Для сравнительной оцѣнки тѣхъ значений, которыя получаютъ по указаннымъ формуламъ, возьмемъ для примѣра трубу діаметромъ $d = 0,100$ mt. ($\cong 4''$) и длиною въ 100 mt.; при этомъ величина потеряннаго напора, при различныхъ скоростяхъ, выражается слѣдующими цифрами, сгруппированными въ прилагаемой таблицѣ.

Т а б л и ц а

потери напора по трубѣ діаметромъ $0,100$ mt. и длиною 100 mt. при различныхъ скоростяхъ по различнымъ даннымъ.

Скорость въ метрахъ.	0,5	1,4	1,5	2,0	2,5	3,0
D'Abuisson	0,380	1,445	3,195	5,031	8,751	12,350
Eytelwein	0,323	1,211	2,657	4,661	7,232	10,360
Prony	0,388	1,463	3,212	5,711	8,881	12,737
Weisbach	0,354	1,216	2,537	4,300	6,492	9,109
S.-Venant	0,353	1,182	2,369	3,877	5,687	7,774
Hagen	0,322	1,244	2,767	4,981	7,616	10,911
Darcy	0,318	1,273	2,863	5,090	7,594	11,453
Lampe	0,323	1,471	3,061	5,140	7,685	10,674
Dupuit	0,389	1,312	3,470	6,168	10,638	13,878
Weston	0,116	0,971	2,048	3,498	5,313	7,191
Lang	0,327	1,223	2,669	4,634	7,173	10,284
Assoc. Eng.	0,458	1,634	3,431	5,817	8,773	12,239

Для болѣе нагляднаго ознакомленія съ данными, полученными изъ вышеприведенныхъ формулъ, примѣнительно къ наиболѣе употребительнымъ діаметрамъ, а именно $0,100$ mt. ($\cong 4''$); $0,200$ mt. ($\cong 8''$); $0,300$ mt. ($\cong 12''$); $0,400$ mt. ($\cong 16''$); $0,500$ mt. ($\cong 20''$); $0,600$ mt. ($\cong 24''$); $0,700$ mt. ($\cong 30''$) и $0,900$ mt. ($\cong 36''$), составляемъ слѣдующую таблицу потерянныхъ напо-

ровъ при скорости въ 1 мт., являющейся наиболѣе типичной при нормальныхъ условіяхъ работы городскихъ водопроводовъ, т.-е. въ часы наибольшаго расхода при отсутствіи пожаровъ.

Т а б л и ц а

потери напора въ водопроводныхъ трубахъ длиною въ 100 мт. при скорости въ 1 мт. по различнымъ даннымъ.

Диаметръ въ метрахъ.	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,750	0,900
D'Aubisson	1,415	0,723	0,182	0,361	0,289	0,241	0,193	0,161
Eytelwein	1,211	0,605	0,401	0,303	0,212	0,203	0,161	0,135
Prony	1,161	0,731	0,488	0,366	0,293	0,241	0,195	0,163
Weisbach	1,216	0,608	0,405	0,304	0,213	0,203	0,162	0,135
S.-Venant	1,182	0,391	0,394	0,295	0,236	0,197	0,153	0,161
Hagen	1,260	0,616	0,107	0,301	0,213	0,202	0,161	0,131
Darcy	1,273	0,572	0,367	0,270	0,213	0,176	0,140	0,116
Lampe	1,171	0,628	0,382	0,207	0,197	0,157	0,122	0,095
Dapuit	1,512	0,771	0,511	0,385	0,308	0,257	0,206	0,171
Lang	1,223	0,612	0,408	0,306	0,245	0,204	0,161	0,136
Assoc. Eng.	1,634	0,618	0,378	0,287	0,191	0,150	0,111	0,087

Для иллюстраціи, насколько близко подходят опытные данныя къ тѣмъ результатамъ, которые получаютъ по формуламъ, приводимъ цѣлый рядъ таблицъ экспериментальныхъ изслѣдованій, взятыхъ изъ сочиненій Humber'a, Fanning'a, Iben'a, Hering'a, Trautwein'a и Hamilton Smith'a ¹⁾).

1) Humber. „Water Supply of cities and towns“.
 Fanning. „A practical treatise on Water Supply engineering“.
 Iben. „Druckhöhen-Verlust in geschlossenen eisernen Rohrleitungen“.
 Hering-Trautwein. „A general formula for the uniform Flow of Water“.
 Hamilton Smith. Jr. Hydraulics: The Flow of Water through Orifices, over Weirs, and through open Conduits and Pipes. 1886.

Таблица № 1.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, бывшей около 2-хъ лѣтъ въ употребленіи. Диаметръ трубы $d = 0,030$ мт. ($\approx 2''$) и длина $l = 385$ мт. и 652 мт. 1).

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	0,367	0,187	0,643	0,167	0,107	0,121	0,130
2	0,303	0,957	2,033	0,315	0,202	0,219	0,222
3	0,332	0,873	4,139	0,638	0,127	0,439	0,421
4	0,999	0,463	6,349	0,974	0,638	0,663	0,619
5	1,079	0,330	8,936	1,371	0,927	0,919	0,836
6	1,134	0,338	10,208	1,366	1,061	1,043	0,912
7	1,316	0,670	13,303	2,025	1,377	1,313	1,187
8	1,136	0,743	9,606	2,495	1,687	1,637	1,423
9	1,648	0,839	12,066	3,134	2,160	2,078	1,771
10	1,733	0,899	13,730	3,371	2,480	2,377	2,008

Таблица № 2.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ водопроводной трубѣ диаметромъ $d = 0,303$ мт. ($\approx 12''$) и длиною $l = 1711$ мт. Новая труба.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	30,04	0,111	1,1	0,082	0,061	0,086	0,082
2	52,78	0,722	5,3	0,310	0,488	0,234	0,222
3	61,70	0,314	7,2	0,421	0,237	0,311	0,291

1) Длина $l = 385$ мт. была при наблюденіяхъ 1, 8, 9 и 10; длина $l = 652$ мт.—при 2, 3, 4, 5, 6 и 7.

Таблица № 3.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ водопроводной чугунной трубѣ, диаметромъ $d = 0,101$ mt. ($\infty 4''$) и длиною $l = 1102$ mt. Труба состояла изъ двухъ участковъ, причемъ первый на длинѣ 721 mt. былъ въ работѣ уже около 9 лѣтъ, остальная же часть около одного года.

Номеръ наблюдения.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	0,766	0,096	0,320	0,029	0,012	0,019	0,021
2	1,833	0,236	1,210	0,113	0,070	0,093	0,093
3	2,885	0,360	2,590	0,235	0,163	0,201	0,198
4	3,241	0,405	3,100	0,287	0,206	0,254	0,212
5	3,834	0,479	4,110	0,376	0,268	0,350	0,323
6	5,012	0,629	7,08	0,642	0,198	0,589	0,526

Таблица № 4.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ новой чугунной водопроводной трубѣ, диаметромъ $d = 0,303$ mt. ($\infty 12''$) и длиною $l = 547,1$ mt.

Номеръ наблюдения.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	36,2	0,193	0,8	0,146	0,088	0,123	0,114
2	46,3	0,204	1,0	0,183	0,113	0,198	0,177
3	51,0	0,293	1,1	0,201	0,176	0,238	0,200
4	58,6	0,301	1,2	0,219	0,231	0,311	0,283
5	71,1	0,273	1,0	0,247	0,342	0,154	0,330
6	83,8	1,117	2,1	0,368	0,171	0,637	0,510
7	90,6	1,239	2,8	0,512	0,333	0,729	0,587
8	107,7	1,173	3,3	0,683	0,781	1,034	0,805

Таблица № 5.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ водопроводной чугунной трубѣ, діаметромъ $d = 0,233$ mt. ($\approx 10''$) и длиною $l = 335$ mt., бывшей въ употребленіи около 6 лѣтъ.

Номеръ наблюдешя.	Секундный расходъ.	Скорость въ метрахъ.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	4,11	0,088	0,068	0,020	0,003	0,007	0,007
2	10,99	0,219	0,122	0,036	0,021	0,032	0,031
3	17,53	0,319	0,311	0,094	0,051	0,077	0,075
4	21,19	0,121	0,395	0,118	0,078	0,109	0,103
5	22,98	0,459	0,506	0,151	0,092	0,128	0,120
6	23,07	0,459	0,532	0,159	0,093	0,129	0,121
7	29,14	0,580	0,778	0,232	0,118	0,261	0,182
8	35,44	0,705	1,216	0,372	0,219	0,293	0,257
9	41,09	0,817	1,011	0,182	0,291	0,390	0,331

Таблица № 6.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,202$ mt. ($\approx 8''$) и длина $l = 247$ mt. Труба находилась около 4-хъ лѣтъ въ работѣ.

Номеръ наблюдешя.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	7,11	0,222	0,093	0,035	0,028	0,042	0,043
2	10,91	0,311	0,210	0,085	0,066	0,092	0,090
3	14,13	0,441	0,329	0,133	0,110	0,119	0,141
4	16,53	0,516	0,465	0,188	0,150	0,201	0,184

Таблица № 7.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,233$ mt. ($\approx 10''$) и длиною $l = 345$ mt. Труба была въ работѣ около 4 лѣтъ.

Номеръ наблюдёнія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	3,03	0,041	0,006	0,00171	0,0016	0,0037	0,0040
2	3,36	0,067	0,008	0,00232	0,0020	0,0013	0,0016
3	4,06	0,081	0,011	0,00310	0,0029	0,0038	0,0063
4	4,31	0,096	0,013	0,00133	0,0036	0,0070	0,0075
5	6,03	0,121	0,027	0,00783	0,0063	0,0113	0,0123
6	8,08	0,162	0,017	0,01360	0,0116	0,0190	0,0201
7	9,38	0,188	0,063	0,01880	0,0130	0,0218	0,0239
8	12,66	0,231	0,113	0,43280	0,0286	0,0126	0,0133
9	13,00	0,262	0,127	0,02680	0,0301	0,0131	0,0137
10	14,31	0,287	0,110	0,01060	0,0373	0,0333	0,0331

Таблица № 8.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ новой чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,152$ mt. ($\approx 6''$) и длиною $l = 327,1$ mt.

Номеръ наблюдёнія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	10,9	0,398	1,3	0,139	0,279	0,333	0,319
2	18,3	1,066	3,8	0,162	0,189	0,971	0,810
3	21,8	1,199	5,3	1,021	1,129	1,373	1,108
4	26,7	1,168	7,3	2,033	1,031	2,043	1,396
5	29,4	1,021	9,9	3,027	2,017	2,432	1,062

Таблица № 9.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,411$ mt. ($\approx 16''$) и длиною $l = 14123$ mt.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.	ПО ФОРМУЛАМЪ.			
			На 100 мт.	Lamre.	Darcy.	Prouty.	Weisbach.
1	65,93	0,481	0,059	0,057	0,059	0,083	0,079
2	103,73	0,736	0,138	0,149	0,147	0,203	0,178
3	113,38	0,836	0,153	0,175	0,175	0,241	0,206
4	129,24	0,912	0,195	0,221	0,229	0,311	0,209

Таблица № 10.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,366$ mt. ($\approx 12''$) и длиною $l = 5390$ mt. Труба была совершенно новой и хорошо асфальтирована.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prouty.	Weisbach.
1	26,11	0,473	6,5	0,121	0,081	0,113	0,103
2	35,14	0,178	6,5	0,121	0,082	0,115	0,107
3	47,15	0,042	10,5	0,195	0,118	0,202	0,180
4	47,13	0,015	10,0	0,186	0,150	0,204	0,182
5	58,17	0,791	14,5	0,269	0,225	0,303	0,261
6	58,73	0,798	14,0	0,260	0,229	0,303	0,266
7	69,38	0,941	19,5	0,362	0,329	0,427	0,359
8	70,01	0,953	18,5	0,343	0,326	0,433	0,365

Таблица № 11.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,088$ мт. ($= 20''$) и длиною $l = 1342$ мт., бывшей въ употребленіи около 25 л. Внутренняя поверхность покрыта толстымъ слоемъ отложеній.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Proby.	Weisbach.
1	100,0	0,183	2,08	0,156	0,051	0,073	0,068
2	136,9	0,073	4,38	0,326	0,096	0,131	0,118
3	166,2	0,086	6,18	0,183	0,141	0,186	0,167
4	194,3	0,059	9,03	0,073	0,193	0,265	0,221
5	220,8	1,008	11,88	0,883	0,218	0,338	0,277
6	247,8	1,221	15,38	1,138	0,313	0,126	0,312
7	264,0	1,306	17,88	1,332	0,338	0,186	0,387
8	275,8	1,081	19,28	1,183	0,389	0,527	0,117

Таблица № 12.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ новой чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,102$ мт. ($\cong 4''$) и длиною $l = 121,0$ мт.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Proby.	Weisbach.
1	2,11	0,38	0,08	0,066	0,182	0,113	0,113
2	5,28	0,08	0,08	0,082	0,510	0,088	0,237
3	6,01	0,08	1,08	0,075	0,095	1,088	0,088
4	10,79	1,32	2,08	2,083	2,183	2,088	1,088
5	13,76	1,08	4,08	3,072	3,087	3,088	3,088

Таблица № 13.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,300$ мт. ($\infty 20''$) и длиною $l = 1071$ мт. Труба новая.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	46	0,227	0,13	0,012	0,011	0,017	0,018
2	96	0,471	0,31	0,048	0,017	0,066	0,063
3	119	0,387	0,81	0,076	0,072	0,103	0,092
4	152	0,750	1,30	0,121	0,448	0,161	0,143

Таблица № 14.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,003$ мт. ($\infty 12''$) и длиною $l = 2188$ мт. Труба находилась въ употребленіи 14 лѣтъ и была покрыта шишкообразными отложеніями.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	16,1	0,22	0,91	0,042	0,018	0,028	0,029
2	26,9	0,36	2,11	0,066	0,017	0,067	0,066
3	35,3	0,49	3,81	0,163	0,087	0,121	0,112
4	49,2	0,67	6,81	0,311	0,182	0,220	0,195
5	59,9	0,91	9,71	0,448	0,238	0,318	0,274
6	72,4	0,99	13,91	0,636	0,353	0,470	0,393
7	86,3	1,18	20,64	0,943	0,501	0,633	0,536

Таблица № 15.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,303$ mt. ($\approx 12''$) и длиною $l = 529$ mt. Труба находилась въ работѣ около 22 лѣтъ и была сильно загрязнена.

Номеръ наблюденья.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	18,3	0,23	0,37	0,108	0,022	0,631	0,133
2	25,6	0,33	1,27	0,240	0,043	0,061	0,063
3	34,1	0,17	2,27	0,429	0,070	0,110	0,103
4	43,1	0,39	3,97	0,750	0,126	0,172	0,136
5	52,6	0,72	5,77	1,091	0,187	0,233	0,221
6	57,7	0,79	6,17	1,823	0,223	0,303	0,239
7	68,0	0,93	9,37	1,771	0,310	0,416	0,319
8	78,9	1,03	12,62	2,386	0,121	0,557	0,139

Таблица № 16.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ новой чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,102$ mt. ($\approx 4''$) и длиною $l = 126,31$ mt.

Номеръ наблюденья.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	2,33	0,31	0,23	0,108	0,120	0,132	0,157
2	4,23	0,52	0,32	0,111	0,036	0,165	0,371
3	5,23	0,61	0,83	0,456	0,530	0,083	0,037
4	5,72	0,70	0,89	0,733	0,610	0,717	0,080
5	6,86	0,81	1,30	1,107	0,033	1,021	0,077

Таблица № 17.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,205$ mt. ($\approx 12''$) и длиною $l = 238$ mt. Труба находилась въ употребленіи около 22 лѣтъ и была покрыта толстымъ слоемъ отложений.

Номеръ наблюденья.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	9,8	0,13	0,10	0,082	0,007	0,011	0,011
2	13,2	0,18	0,19	0,076	0,011	0,010	0,011
3	34,1	0,47	1,19	0,500	0,073	0,112	0,103
4	52,8	0,79	2,43	1,105	0,157	0,233	0,221
5	63,6	0,87	3,21	1,483	0,271	0,363	0,312
6	78,4	1,07	5,30	2,311	0,321	0,517	0,449
7	97,2	1,33	9,05	3,803	0,637	0,837	0,688

Таблица № 18.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,152$ mt. ($\approx 6''$) и длиною $l = 279,30$ mt. Труба находилась въ работѣ 19 лѣтъ и была покрыта толстымъ слоемъ отложений.

Номеръ наблюденья.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	4,8	0,446	2,7	0,967	0,048	0,007	0,038
2	7,8	0,883	5,3	1,836	0,113	0,132	0,103
3	8,3	0,818	7,2	2,338	0,171	0,222	0,207
4	9,2	0,367	8,7	3,115	0,200	0,230	0,230
5	10,0	0,333	9,7	3,473	0,033	0,306	0,273
6	10,3	0,306	10,3	3,638	0,250	0,330	0,280

Таблица № 19.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора по чугунной водопроводной, трубѣ діаметромъ $d = 0,303$ mt. ($\approx 12''$) и длиною $l = 551$ mt. Труба находилась въ работѣ 15 лѣтъ и была покрыта толстымъ слоемъ отложений.

Номеръ казёденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	19,1	0,38	0,38	0,063	0,023	0,037	0,039
2	27,8	0,38	0,31	0,163	0,051	0,070	0,080
3	39,8	0,31	2,07	0,370	0,103	0,163	0,133
4	51,8	0,70	3,37	0,812	0,177	0,210	0,210
5	55,3	0,70	3,98	0,713	0,088	0,281	0,088
6	56,8	0,70	4,20	0,770	0,220	0,283	0,257

Таблица № 20.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,303$ mt. ($\approx 12''$) и длиною $l = 655$ mt. Труба была 2 года въ употребленіи и была покрыта небольшимъ слоемъ отложений.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	13,2	0,18	0,17	0,020	0,011	0,010	0,013
2	16,1	0,22	0,23	0,063	0,016	0,027	0,020
3	18,0	0,23	0,27	0,011	0,013	0,031	0,000
4	26,8	0,38	0,30	0,070	0,007	0,067	0,000
5	27,0	0,37	0,33	0,061	0,031	0,071	0,070
6	29,0	0,40	0,67	0,067	0,003	0,003	0,070
7	36,8	0,30	0,30	0,120	0,000	0,133	0,133
8	52,0	0,72	1,06	0,200	0,133	0,033	0,221

Таблица № 21.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ новой чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,303$ мт. ($\approx 12''$) и длиною $l = 176,83$ мт.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	8,0	0,11	0,008	0,008	0,001	0,007	0,007
2	19,3	0,26	0,017	0,028	0,025	0,038	0,039
3	29,8	0,41	0,106	0,060	0,061	0,087	0,083
4	39,6	0,33	0,178	0,101	0,101	0,110	0,128
5	48,3	0,66	0,261	0,149	0,158	0,216	0,192
6	54,9	0,73	0,333	0,189	0,102	0,272	0,237
7	67,5	0,92	0,302	0,281	0,306	0,169	0,315
8	80,3	1,10	0,697	0,334	0,436	0,577	0,473
9	107,6	1,17	1,238	0,700	0,778	1,020	0,300
10	135,0	1,85	1,083	1,122	1,231	1,603	1,222

Таблица № 22.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,303$ мт. ($\approx 12''$) и длиною $l = 2481$ мт. Труба была 8 лѣтъ въ употребленіи ¹⁾.

Номеръ наблюденія.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	59,2	0,81	8,23	0,332	0,238	0,318	0,273
2	79,7	1,09	10,52	0,523	0,428	0,567	0,467
3	97,2	1,33	11,58	0,731	0,437	0,838	0,663

¹⁾ Fanning. „A practical treatise on Water-Supply engineering“.

Таблица № 23.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ новой чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,305$ mt. ($\approx 12''$) и длиною $l = 343$ mt.

Номеръ наблюденья.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	38,0	0,32	0,1	0,029	0,097	0,135	0,124
2	40,2	0,35	0,2	0,038	0,108	0,151	0,136
3	49,7	0,43	0,4	0,117	0,166	0,227	0,190
4	57,0	0,78	0,6	0,173	0,220	0,293	0,256
5	65,1	0,89	0,7	0,201	0,235	0,332	0,322
6	70,9	0,97	0,8	0,233	0,339	0,452	0,377
7	78,9	1,08	1,1	0,321	0,421	0,557	0,459
8	84,1	1,15	1,3	0,379	0,475	0,630	0,511
9	100,9	1,38	1,9	0,531	0,681	0,901	0,711
10	133,0	1,89	2,2	0,611	1,192	1,354	1,189
11	156,4	2,14	3,1	0,901	1,619	2,110	1,598
12	159,4	2,18	4,2	1,221	1,710	2,219	1,650
13	176,9	2,32	5,2	1,516	2,110	2,729	2,004
14	190,1	2,69	6,8	1,719	2,431	3,115	2,288
15	194,4	2,66	7,6	2,041	2,519	3,291	2,388
16	234,7	3,21	8,7	2,537	3,712	4,780	3,357

Таблица № 24.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ новой чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,132$ mt. ($\approx 6''$) и длиною $l = 331,67$ mt.

Номеръ наблюденья.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	18,64	1,027	3,8	1,116	0,022	1,014	0,033
2	21,32	1,098	4,7	1,417	1,137	1,033	1,121

Таблица № 25.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d=0,132$ mt. ($\approx 6''$) и длиною $l=274,2$ mt. Труба находилась въ работѣ 13 лѣтъ и была покрыта внутри толстымъ слоеиъ отложеній.

Номеръ наблюдений.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 mt.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	4,5	0,218	2,1	0,746	0,048	0,087	0,068
2	7,0	0,368	3,1	1,161	0,115	0,152	0,146
3	8,0	0,188	4,6	1,678	0,171	0,222	0,207
4	9,2	0,507	5,8	1,933	0,200	0,239	0,238
5	10,0	0,838	6,1	2,225	0,239	0,306	0,278
6	10,0	0,385	6,7	2,444	0,250	0,320	0,289

Таблица № 26.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d=0,102$ mt. ($\approx 4''$) и длиною $l=113,8$ mt. Труба находилась 19 лѣтъ въ употребленіи и была покрыта толстымъ слоеиъ отложеній.

Номеръ наблюдений.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 mt.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	0,73	0,09	0,16	0,139	0,018	0,017	0,018
2	1,74	0,21	1,09	1,479	0,033	0,073	0,077
3	2,58	0,32	3,08	3,239	0,127	0,161	0,139
4	3,07	0,43	8,10	7,201	0,206	0,261	0,335
5	5,21	0,84	13,08	12,042	0,018	0,004	0,337
6	5,08	0,73	17,08	15,008	0,083	0,779	0,680

Таблица № 27.

Опытныя данныя надъ опредѣлемъ величины потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d = 0,132$ шт. ($\cong 6''$) и длиною $l = 283,44$ шт. Труба находилась въ работѣ около 3-хъ мѣсяцевъ.

Номеръ наблюдени.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	12,0	0,71	1,0	0,333	0,320	0,495	0,480
2	18,5	1,02	3,5	1,231	0,610	1,000	0,829
3	24,0	1,32	4,2	1,482	1,350	1,657	1,317
4	25,8	1,10	6,0	2,117	1,571	1,613	1,516
5	28,1	1,35	7,2	2,541	1,570	2,273	1,760
6	29,0	1,01	7,8	2,732	2,018	2,440	1,600
7	30,7	1,09	8,8	2,309	2,228	2,695	2,079
8	33,2	1,80	9,7	3,123	2,020	3,150	2,402
9	35,0	1,98	11,1	4,023	3,651	3,084	2,771
10	39,0	2,17	14,3	5,046	3,069	4,015	3,282
11	44,5	2,15	17,5	6,173	4,070	5,614	4,100
12	48,9	2,06	19,3	6,810	5,516	6,607	4,791

Таблица № 28.

Опытныя данныя надъ опредѣлемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ діаметромъ $d = 0,305$ шт. ($\cong 12''$) и длиною 16 шт. Труба находилась въ работѣ около 12 лѣтъ и была покрыта небольшими шишкообразными отложениями.

Номеръ наблюдени.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	39,90	0,547	3,6	0,221	0,100	0,100	0,136
2	45,32	0,820	4,3	0,254	0,136	0,136	0,100

Таблица № 29.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ, діаметромъ $d=0,193$ мт. ($\approx 4''$) и длиною $l=576$ мт. Труба находилась въ работѣ $2\frac{1}{2}$ года.

Номеръ наблюденья.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	3,56	0,435	2,1	0,383	0,233	0,238	0,271
2	8,79	1,076	14,9	2,387	1,840	1,633	1,361
3	10,19	1,215	20,8	3,611	1,931	2,203	1,778
4	10,78	1,319	23,7	4,113	2,164	2,466	1,966

Таблица № 30.

Опытныя данныя надъ опредѣленіемъ потери напора въ чугунной водопроводной трубѣ діаметромъ $d=0,198$ мт. ($\approx 4''$) и длиною $l=300$ мт. Труба находилась въ работѣ $1\frac{1}{2}$ года.

Номеръ наблюденья.	Секундный расходъ.	Скорость въ секунду.	Величина потеряннаго напора.				
			ПО ОПЫТУ.		ПО ФОРМУЛАМЪ.		
			Полная.	На 100 мт.	Darcy.	Prony.	Weisbach.
1	8,56	1,061	4,3	1,573	1,400	1,610	1,329
2	12,11	1,482	8,3	3,109	2,731	3,103	2,188
3	14,44	1,768	11,5	4,206	3,837	4,399	3,360
4	15,39	1,884	13,3	4,861	4,413	4,976	3,780

Какъ рѣзко измѣняется величина потеряннаго напора въ зависимости отъ внутренняго состоянія поверхности водопроводныхъ трубъ, легко усмотрѣть изъ слѣдующей таблицы, составленной на основаніи данныхъ, приведенныхъ у J. T. Fanning'a, Humber'a и Otto Iben'a ¹⁾.

¹⁾ J. T. Fanning. A practical treatise on Water Supply Engineering. 1899.
Humber. Water Supply of cities and towns. 1876.
Otto Iben. Druckhöhen-Verlust. 1880.

Таблица № 31.

Сравнительныя данныя для оцѣнки вліянія продолжительной работы чугунныхъ водопроводныхъ трубъ на величину потери напора ¹⁾.

Диаметръ трубъ въ mt.	Число лѣтъ работы трубы.	Секундная скорость.	Величина потеряннаго напора.		Величина отношенія.
			По опыту.	По Darcy.	
0,914	Неизвѣстно.	0,914	0,180	0,095	1,9
0,762	8	0,510	0,046	0,040	1,2
0,508	25	0,193	0,155	0,051	3,0
0,508	25	0,673	0,326	0,096	3,1
0,508	25	0,820	0,183	0,141	3,4
0,508	25	0,959	0,673	0,193	2,5
0,508	25	1,066	0,835	0,248	3,0
0,508	25	1,221	1,139	0,313	3,6
0,508	25	1,306	1,332	0,358	3,7
0,508	25	1,361	1,433	0,289	3,7
0,508	Неизвѣстно.	0,433	0,095	0,012	2,3
0,483	8	0,833	0,183	0,153	1,2
0,406	8	1,60	0,893	0,679	1,0
0,406	8	2,98	1,420	1,118	1,2
0,406	8	4,12	4,822	5,134	0,9
0,381	30	1,03	0,509	0,313	2,9
0,305	22	0,13	0,052	0,007	6,0
0,305	22	0,18	0,076	0,011	6,9
0,305	22	0,47	0,500	0,079	6,3
0,303	22	0,72	1,103	0,187	5,9
0,305	22	0,87	1,643	0,271	6,9
0,305	22	1,07	2,911	0,411	5,0
0,305	22	1,33	3,903	0,637	6,0

¹⁾ Величина потеряннаго напора отнесена къ 100 mt. длины трубъ. Формула Darcy принята для чистыхъ трубъ, не покрытыхъ осадками, т. е. при коэффициентѣ $\sigma = 1$.

Диаметръ трубы.	Число лѣтъ работы трубы.	Секундная скорость.	Величина потеряннаго напора.		Величина отношения.
			По опыту.	По Дарсу.	
0,305	15	0,26	0,065	0,025	2,0
0,309	15	0,33	0,165	0,061	3,2
0,305	15	0,54	0,376	0,105	3,6
0,305	15	0,70	0,612	0,177	3,5
0,305	15	0,76	0,713	0,209	3,4
0,303	15	0,78	0,773	0,220	3,5
0,305	14	0,22	0,012	0,018	2,3
0,303	14	0,36	0,090	0,017	2,0
0,305	14	0,49	0,165	0,087	1,9
0,303	14	0,67	0,311	0,162	1,9
0,305	14	0,81	0,444	0,233	1,9
0,305	14	0,99	0,636	0,353	1,8
0,305	14	1,18	0,843	0,501	1,9
0,305	8	0,81	0,332	0,238	1,4
0,305	8	1,09	0,523	0,428	1,2
0,305	8	1,33	0,731	0,637	1,1
0,305	2	0,18	0,026	0,011	2,4
0,305	2	0,22	0,035	0,018	1,9
0,305	2	0,25	0,041	0,022	1,9
0,303	2	0,36	0,076	0,047	1,8
0,305	2	0,87	0,681	0,651	1,0
0,305	2	0,40	0,687	0,688	1,5
0,305	2	0,59	0,138	0,090	1,4
0,305	2	0,73	0,299	0,187	1,9
0,132	19	0,246	0,067	0,018	20,1
0,132	19	0,333	1,896	0,115	16,5
0,132	19	0,463	2,578	0,171	15,1
0,132	19	0,507	3,115	0,200	15,6
0,132	19	0,553	3,473	0,239	14,5
0,132	19	0,566	3,688	0,250	14,0

Диаметръ трубъ.	Число лѣтъ работы трубы.	Секундная скорость.	Величина потеряннаго напора.		Величина отношенія.
			По опыту.	По Дарсу.	
0,133	5	0,141	0,339	0,318	3,7
0,132	19	0,39	0,339	0,319	15,9
0,132	19	0,21	1,179	0,335	26,3
0,103	19	0,32	3,239	0,127	25,5
0,102	19	0,13	7,291	0,398	24,2
0,102	19	0,64	12,642	0,519	23,9
0,102	19	0,79	15,336	0,663	22,7

Разсматривая вышеприведенную таблицу, приходится констатировать почти полное отсутствіе какой-либо закономерности между потерей напора и продолжительностью срока службы водопроводныхъ трубъ. Для иллюстраціи приведемъ слѣдующія среднія значенія величинъ отношенія между потерей напора, наблюдаемой въ дѣйствительности и опредѣленной по формулѣ Дарсу съ коэффициентомъ шероховатости $\sigma = 1$, составленныя на основаніи цифровыхъ даныхъ вышеприведенныхъ опытовъ.

Таблица № 32.

Результаты сравненія опытныхъ данныхъ надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора для установленія вліянія продолжительности службы чугунныхъ водопроводныхъ трубъ.

Диаметръ трубъ.	Продолжительность службы.	Величина отноше- нія.
0,102 (\cong 4")	19 лѣтъ.	23,1
0,132 (\cong 6")	19 лѣтъ.	16,1
0,303 (\cong 12")	22 года.	5,9
0,393 (\cong 20")	25 лѣтъ.	3,9

Болѣе обстоятельныя указанія по этому вопросу приведены въ «The graphical solution of hydraulic problems» Freeman'a и Coffin'a, при чемъ ими была сдѣлана попытка установленія за-

висвости между продолжительностью срока службы водопроводныхъ трубъ и наблюдаемой потерей напора.

Оцѣнивая всѣ опытные данныя надъ опредѣленіемъ величины потеряннаго напора по коэффициенту тренія λ , входящему въ основное уравненіе:

$$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

найдемъ, что его численное значеніе также варьируется въ довольно широкихъ предѣлахъ. Положивъ въ основу сравненія данныя, установленныя Fanning'омъ и приведенныя въ его «A practical treatise on hydraulic and Water-Supply Engineering», получимъ слѣдующую таблицу.

Таблица № 33.

Сравнительныя данныя для оцѣнки измѣненія величины коэффициента потери напора въ зависимости отъ продолжительности срока службы водопроводныхъ трубъ.

Диаметръ трубъ.	Продолжител. служ. трубъ.	Скорость въ секунду.	Величина коэффициента тренія.		Величина отношенія.
			По опыту.	По Fanning'у.	
0,102 (≅ 4")	19 лѣтъ.	0,730	0,3644	0,0180	11,8
0,152 (≅ 6")	19 лѣтъ.	0,368	0,3137	0,0480	7,8
0,305 (≅ 12")	22 года.	0,370	0,1290	0,0331	2,9
0,305 (≅ 20")	25 лѣтъ.	0,330	0,0730	0,0204	2,4

Наиболѣе интереснымъ является вопросъ о проводимой способности водопроводныхъ трубъ, а потому выясненіе зависимости между срокомъ службы водопроводныхъ трубъ и тѣмъ количествомъ, которое можетъ быть доставлено при ихъ посредствѣ, имѣетъ большое практическое значеніе. Для примѣра воспользуемся тѣми же данными и опредѣлимъ, какъ велико въ процентномъ отношеніи измѣненіе величины проводимости чугунныхъ водопроводныхъ трубъ. Въ интересахъ большей наглядности и большей опредѣленности въ заключеніяхъ на основаніи данныхъ опыта возьмемъ указанія, относящіяся къ

трубъ средняго діаметра ($d=0,305$ mt. $\approx 12''$), находящейся въ непрерывной работѣ около 22 лѣтъ и покрытой внутри толстымъ слоемъ инкрустаціонныхъ отложений. Результаты сравненія помѣщаемъ въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Таблица № 34.

Сравнительныя данныя для оцѣнки вліянія продолжительности срока службы водопроводн. трубъ на ихъ проводоспособность.

Величина потерянаго напора.	Новая труба.		Старая труба.		Уменьшеніе проводоспо- собности въ процентахъ.
	Секундная скорость.	Секундный расходъ.	Секундная скорость.	Секундный расходъ.	
0,10	0,333	24,00	0,13	9,50	40%
0,18	0,471	34,00	0,18	13,20	39%
1,19	1,176	86,00	0,47	34,00	40%
2,03	1,718	128,00	0,72	52,00	41%
3,91	2,131	157,00	0,87	63,00	41%
5,50	2,901	185,00	1,07	78,20	42%
9,03	3,249	238,00	1,33	97,00	41%

Указанная величина уменьшенія проводоспособности водопроводныхъ трубъ, которая въ среднемъ можетъ быть принята около 40%, должна быть признана существенно важной, въ особенности при проектированіи новаго водоснабженія. Чтобы еще болѣе отчетливо отгѣнить важность вліянія продолжительности работы водопроводныхъ трубъ на ихъ проводоспособность, результатамъ наблюденій придадимъ графическое представленіе. Объектомъ изслѣдованій служила труба діаметромъ $d=0,102$ mt. ($\approx 4''$). Первый разъ опыты были произведены послѣ 2 $\frac{1}{2}$ лѣтъ ея работы, второй же—13 лѣтъ спустя, т.-е. послѣ 15 $\frac{1}{2}$ лѣтъ.

Таблица № 35.

Опытныя данныя надъ опредѣлишемъ потеряннаго напора въ чугунной водопроводной трубѣ диаметром $d=0,102$ шт. ($\approx 4''$) послѣ $2\frac{1}{2}$ и $15\frac{1}{2}$ лѣтней непрерывной работы.

Число лѣтъ работы трубы.	Скорость въ секунду.	Секундный расходъ.	Потерянный напоръ на 100 мт. длины.
$2\frac{1}{2}$ года.	0,433	3,36	0,37
$2\frac{1}{2}$ „	1,076	8,79	2,39
$2\frac{1}{2}$ „	1,246	10,19	3,61
$2\frac{1}{2}$ „	1,319	10,78	4,12
$15\frac{1}{2}$ лѣтъ.	0,224	1,833	0,41
$15\frac{1}{2}$ „	0,392	3,200	1,61
$15\frac{1}{2}$ „	0,300	4,083	2,02
$15\frac{1}{2}$ „	0,371	4,667	2,24
$15\frac{1}{2}$ „	0,683	5,881	3,87
$15\frac{1}{2}$ „	0,743	6,083	4,60
$15\frac{1}{2}$ „	0,806	6,333	5,46

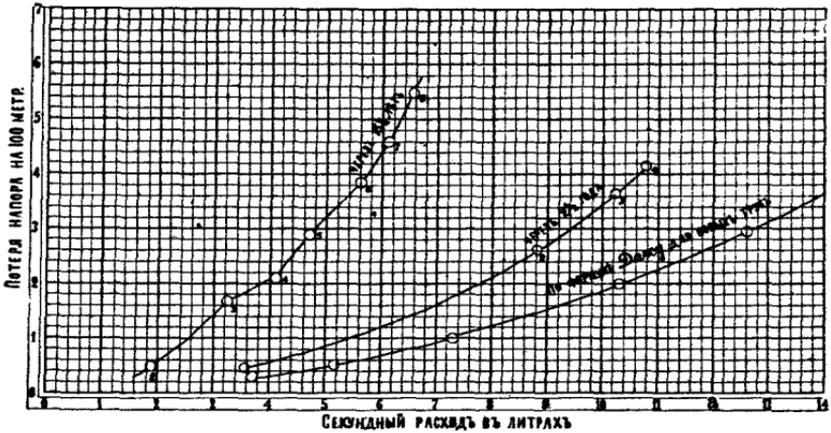
Пользуясь вышеприведенными данными, опредѣляемъ то количество воды, которое можетъ быть доставлено по совершенно новой трубѣ и послѣ нѣсколькихъ лѣтъ ея работы, относя расходы къ послѣдовательно измѣняющимся потерямъ напора въ интересахъ большаго удобства графическаго представлѣнiя.

Таблица № 36.

Сравнительныя данныя для оцѣнки величины секунднаго расхода при различныхъ располагаемыхъ потерянныхъ напорахъ.

Величина потеряннаго напора.	Величина секунднаго расхода.		
	Теоретическ. Для новой трубы.	О п ы т н ы я.	
		Послѣ $2\frac{1}{2}$ л. работы.	Послѣ $15\frac{1}{2}$ л. работы.
1,0	7,3	5,8	2,6
2,0	10,3	7,8	4,0
3,0	12,4	9,4	4,8
4,0	14,6	10,8	5,7

Изображая результаты проводимости чугунной водопроводной трубы графически, получимъ слѣдующую діаграмму:



Оцѣнивая уменьшеніе проводимой способности трубы въ процентахъ, принимаемъ теоретическій расходъ по новой трубѣ за 100, тогда для данныхъ вышериведеннаго опыта получимъ слѣдующія цифры:

Таблица № 37.

Процентное уменьшеніе проводимости чугунной водопроводной трубы, ея связи съ продолжительностью ея работы.

Теоретическій расходъ для новой трубы, принятой за 100.	Секундный расходъ по даннымъ черезъ 2 ¹ / ₂ года.	Секундный расходъ по даннымъ черезъ 15 ¹ / ₃ лѣтъ.
100	76,7	35,8
100	75,7	38,8
100	74,8	38,1
100	72,8	39,0

Указанная оцѣнка влияния продолжительности срока службы водопроводныхъ трубъ на уменьшеніе ихъ проводимой способ-

ности имѣетъ громадное практическое значеніе, и болѣе детальное его изученіе является весьма желательнымъ.

На первыхъ порахъ необходимо установить, какая изъ эмпирическихъ формулъ наиболѣе отвѣчаетъ своему назначенію. Едва ли можно ошибиться, если сказать, что большинство склоняется къ примѣненію формулы Darcy, которая имѣетъ только одну неопредѣленность, обусловливаемую коэффициентомъ сопротивленія, т.-е. величиной σ . Санъ Darcy, какъ уже было замѣчено, указываетъ для σ предѣлы между 1 и 2. Grashof совѣтуетъ, при практическомъ примѣненіи этой формулы, увеличивать ее на 50% и даже болѣе, принимая во вниманіе потерю напора какъ отъ тренія воды о стѣнки трубы, такъ и отъ потери, которая происходитъ отъ закругленій, суженій живого сѣченія и т. п.

Согласно этому указанію, формула Darcy съ коэффициентомъ увеличеннымъ на 50%, что равносильно предположенію, что коэффициентъ $\sigma=1,5$, примѣнялась въ нѣсколькихъ городахъ при проектированіи городской сѣти. Эта же формула положена въ основу расчета сѣти и при устройствѣ водоснабженія Москвы: ею пользовались какъ при проектированіи сѣти Мытищинскаго, такъ и Москворѣцкаго водопровода.

При назначеніи величины σ болѣе указанной величины ($\sigma=1,5$) потеря напора, по замѣчанію инженера O. Iben'a, получается значительно болѣе, чѣмъ наблюдается въ дѣйствительности. Redtenbacher въ своемъ сочиненіи, «Resultate für den Maschinenbau», указываетъ, что формула Darcy въ этой послѣдней формѣ предназначается только для трубъ, покрытыхъ толстымъ слоемъ инкрустационныхъ отложеній.

Кромѣ этого, необходимо еще указать на сравнительную бѣдноту опытныхъ данныхъ по вопросу о потерѣ напора въ водопроводныхъ трубахъ, а потому было бы весьма желательно, чтобы лица, стоящія болѣе или менѣе близко къ водопроводному дѣлу дополнили этотъ пробѣлъ, насколько дозволяютъ имъ обстоятельства, время и средства.

По обсужденіи настоящаго доклада Съѣздомъ было принято слѣдующее постановленіе:

Пятый Русскій Водопроводный Съѣздъ, признавая важнымъ выясненіе величины потеряннаго напора при движеніи воды въ водопроводныхъ трубахъ, предлагаетъ лицамъ, заинтересованнымъ въ его разрѣшеніи, представить свои соображенія и результаты своихъ наблюденій въ Постоянное Бюро, которое должно принять на себя трудъ собранія матеріаловъ по этому вопросу для обсужденія его на будущихъ Водопроводныхъ Съѣздахъ.
