

Ф. А. Шевелев

**Таблицы для
гидравлического расчета**

**Стальных, чугунных,
асбестоцементных,
пластмассовых и стеклянных
водопроводных труб. Изд 5-е
доп.**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
Ф11

Ф. А. Шевелев
Ф11 Таблицы для гидравлического расчета: Стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. Изд 5-е доп. / Ф. А. Шевелев – М.: Книга по Требованию, 2013. – 116 с.

ISBN 978-5-458-35727-2

Книга содержит таблицы для гидравлического расчёта водопроводных труб из различных материалов. Таблицы составлены по формулам, выработанным в результате исследований проведённых во ВНИИ ВОДГЕО, и охватывают нормированные размеры диаметров труб. Справочное пособие предназначено для специалистов, работающих в области водоснабжения. Табл. 18.

ISBN 978-5-458-35727-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Настоящие таблицы предназначены для гидравлического расчета водопроводных труб и являются пятым дополненным изданием ранее опубликованных таблиц.

Таблицы составлены по формулам, которые были получены в результате исследований, проведенных во ВНИИ ВОДГЕО д-ром техн. наук, проф. Ф. А. Шевелевым¹.

Пользование указанными формулами для стальных, чугунных и асбестоцементных труб предусмотрено действующими нормативными документами².

По сравнению с четвертым изданием (1970 г.) книга дополнена таблицей для гидравлического расчета стеклянных труб, исследование которых проведено инж. А. Ф. Шевелевым.

Всесоюзный научно-исследовательский институт ВОДГЕО.

1. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ И СТРУКТУРА ТАБЛИЦ

Для гидравлического расчета водопроводных труб обычно используют следующую формулу:

$$i = \lambda \frac{1}{d_p} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

где i — гидравлический уклон;
 λ — коэффициент сопротивления трения по длине;
 d_p — расчетный внутренний диаметр трубы в м;
 v — средняя скорость движения воды в м/сек;
 g — ускорение силы тяжести в м/сек².

Для использования формулы (1) необходимо установить зависимости, определяющие значение коэффициента λ .

А. СТАЛЬНЫЕ И ЧУГУННЫЕ ТРУБЫ

В результате исследований, проведенных автором во ВНИИ ВОДГЕО, получены следующие зависимости для коэффициента λ .

1. Для новых стальных труб

$$\lambda = \frac{0,312}{d_p^{0,226}} \left(1,9 \cdot 10^{-6} + \frac{v}{v} \right)^{0,226}, \quad (2)$$

где v — кинематический коэффициент вязкости воды в м²/сек.

Для гидравлического расчета водопроводных труб с достаточной для практических целей точностью можно принять

$v = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/сек, что соответствует температуре воды 10°С.

При этом значении v формула (2) можно придать следующий вид:

$$\lambda = \frac{0,0159}{d_p^{0,226}} \left(1 + \frac{0,684}{v} \right)^{0,226} \quad (2a)$$

2. Для новых чугунных труб

$$\lambda = \frac{0,863}{d_p^{0,284}} \left(0,55 \cdot 10^{-6} + \frac{v}{v} \right)^{0,284} \quad (3)$$

или, приняв $v = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/сек,

$$\lambda = \frac{0,0144}{d_p^{0,284}} \left(1 + \frac{2,36}{v} \right)^{0,284} \quad (3a)$$

3. Для новых стальных и чугунных водопроводных труб:

при $\frac{v}{v} \geq 9,2 \cdot 10^5$ 1/м

$$\lambda = \frac{0,0210}{d_p^{0,3}}; \quad (4)$$

при $\frac{v}{v} < 9,2 \cdot 10^5$ 1/м

$$\lambda = \frac{1}{d_p^{0,3}} \left(1,5 \cdot 10^{-6} + \frac{v}{v} \right)^{0,3} \quad (5)$$

или, приняв $v = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/сек,

$$\lambda = \frac{0,0179}{d_p^{0,3}} \left(1 + \frac{0,867}{v} \right)^{0,3}. \quad (5a)$$

К новым стальным и чугунным трубам можно относить трубы, на стенках которых отсутствуют заметные признаки коррозии или отложений.

При коррозии стенок труб или образовании на них отложений шероховатость стенок возрастает, что влечет за собой увеличение коэффициента λ . Формулы (4) и (5) соответствуют такой естественной шероховатости новых стальных и чугунных водопроводных труб, которая по гидравлическому сопротивлению эквивалентна искусственной шероховатости, образуемой путем нанесения на стенки новых стальных труб песка с зернами крупностью 1 мм.

Такая естественная шероховатость наблюдается, например, в трубах московского водопровода, условия работы которых можно принять как средние.

¹ ВНИИ ВОДГЕО (Ф. А. Шевелев). Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. М., Гостройиздат, 1953.

ВНИИ ВОДГЕО (Ф. А. Шевелев). Гидравлический расчет асбестоцементных труб. М., Гостройиздат, 1954.

² Строительные нормы и правила. Глава II-Г. 3-62 — «Водоснабжение. Нормы проектирования». Гостройиздат, 1962.

Строительные нормы и правила. Глава II-Г. 1-62 — «Внутренний водопровод жилых и общественных зданий. Нормы проектирования». М., Гостройиздат, 1962.

Гидравлический расчет водопроводных труб по формулам (2) и (3) можно производить лишь в тех случаях, когда проверяются условия работы только что проложенных водопроводных линий из новых труб или когда при укладке труб и их последующей эксплуатации приняты специальные меры, гарантирующие трубы от коррозии и образования отложений на внутренней поверхности их стенок.

В остальных случаях гидравлический расчет водопроводных труб следует производить по формулам, учитывающим увеличение коэффициента сопротивления труб в процессе эксплуатации.

Подстановка в формулу (1) значений λ , определяемых выражениями (4) и (5а), дает следующие расчетные формулы для неновых стальных и чугунных водопроводных труб:

при $v \geq 1,2$ м/сек

$$i = 0,00107 \frac{v^2}{d_p^{1,3}}; \quad (6)$$

при $v < 1,2$ м/сек

$$i = 0,000912 \frac{v^2}{d_p^{1,3}} \left(1 + \frac{0,867}{v} \right)^{0,3} \quad (7)$$

Предлагаемые расчетные таблицы I, II и III составлены по формулам (6) и (7), при этом величины внутренних диаметров приняты по ГОСТам на стальные и чугунные трубы. Для стальных труб средних и больших диаметров внутренние диаметры приняты по ГОСТ 10704—63, а для стальных труб средних и малых диаметров (газовых) — по ГОСТ 3262—62.

Однако таблицы рассчитаны не для всех диаметров стальных труб, изготовление которых предусмотрено ГОСТ 10704—63, а лишь для тех из них, которые вошли в сортамент, рекомендуемый для систем водоснабжения. В этот сортамент включены в основном стальные трубы, наружный диаметр которых соответствует наружным диаметрам чугунных труб по действующим ГОСТам¹.

Дополнительно включены три промежуточных диаметра стальных труб (наружные диаметры 76, 89 и 180 мм), а также диаметры, превосходящие диаметры изготавливаемых чугунных труб (наружные диаметры 1420, 1520 и 1620 мм).

Для ГОСТ 3262—62 толщины стенок приняты как для «обыкновенных» труб.

Для ГОСТ 10704—63 расчетные диаметры труб приняты применительно к мини-

мальным толщинам стенок труб. При наружных диаметрах труб до 630 мм эти толщины стенок в подавляющем большинстве случаев с избытком обеспечивают требуемую прочность трубопроводов систем водоснабжения. Поэтому использование таких труб с большими толщинами стенок может оказаться необходимым лишь как исключение.

При наружных диаметрах 720 мм и более необходимость использования труб с большими толщинами может быть чаще. Но в этом случае увеличение толщины стенок труб практически не сказывается на их пропускной способности, благодаря чему может не учитываться.

Поскольку отклонения величин внутренних диаметров от нормированных предусмотрены ГОСТами со знаками «плюс» и «минус» и при достаточной длине трубопровода будут взаимно компенсироваться, то эти отклонения при определении расчетных внутренних диаметров не учтены. Для стальных и чугунных труб диаметром менее 300 мм учтено уменьшение внутреннего диаметра на 1 мм за счет коррозии или отложений. Для труб диаметром 300 мм и более такое уменьшение диаметра практического значения не имеет и поэтому не учтено.

Для чугунных труб внутренние диаметры установлены по ГОСТ 5525—61 и ГОСТ 9583—61, причем для условных проходов до 300 мм включительно принят класс ЛА, а для больших диаметров — класс А.

Использование чугунных труб более тяжелых классов в системах водоснабжения в подавляющем большинстве случаев не требуется.

Принятые при составлении таблиц величины расчетных внутренних диаметров стальных и чугунных труб приведены в табл. 1.

В расчетных таблицах I, II, III для определенных величин диаметра условного прохода d даны значения 1000 i , соответствующие потере напора в миллиметрах на 1 м или в метрах на 1 км длины трубопровода, и v в м/сек при различных значениях Q в л/сек.

Величина потерь напора, как известно, может быть подсчитана также по удельному сопротивлению трубопровода, которое в соответствии с формулой (6) определяется выражением

$$A = \frac{i}{Q^2} = \frac{0,001735}{d_p^{5,3}}. \quad (8)$$

В табл. 2 даны значения A для неновых стальных и чугунных труб, подсчитанные по формуле (8). Значения A , приведенные в табл. 2, вычислены по величинам расчетных внутренних диаметров согласно табл. 1.

Поскольку формула (8) справедлива при средней скорости движения воды $v \geq 1,2$ м/сек, то при меньших скоростях движения воды в значение удельных сопротивлений A по табл. 2 необходимо вводить поправку на неквадратичность зависимости потерь напора от средней скорости движения воды.

¹ Исследования, выполненные во ВНИИ ВОДГЕО канд. техн. наук М. А. Сомовым, показали, что при использовании труб только рекомендуемого сортамента среднее удорожание, вызванное их применением вместо труб, точно соответствующих по диаметру заданному расходу воды, является несущественным. Это удорожание значительно ниже тех затрат, которые вызывают увеличение типоразмеров труб, фасонных частей и арматуры.

Таблица 1. Величины внутренних диаметров, принятые при составлении таблиц для гидравлического расчета стальных и чугунных водопроводных труб (размеры даны в мм)

Трубы стальные водогазо- проводные (газовые). ГОСТ 3202-62				Трубы стальные и чугунные								
				Условный проход d	Трубы стальные электросварные. ГОСТ 10704-63				Трубы чугунные напорные. ГОСТ 5525-61 и ГОСТ 9583-61			
					Наружный диаметр d_n	Толщина стенки δ	Внутренний диаметр при данной тол- щине стен- ки d_v	Расчетный внутренний диаметр d_p	класс ЛА		класс А	
Условный проход d	Наружный диаметр d_n	Внутренний диаметр d_v	Расчетный внутренний диаметр d_p	Условный проход d	Наружный диаметр d_n	Толщина стенки δ	Внутренний диаметр при данной тол- щине стен- ки d_v	Расчетный внутренний диаметр d_p	Внутрен- ний диа- метр d_v	Расчетный внутренний диаметр d_p	Внутренний диаметр d_v	Расчетный внутренний диаметр d_p
6	10,2	6,2	5,2	50	70	2,5	65	64	52,6	51,6	—	—
8	13,5	9,1	8,1	60	76	2,5	71	70	—	—	—	—
10	17,0	12,6	11,6	75	89	2,5	84	83	—	—	—	—
15	21,3	15,7	14,7	80	102	3,0	96	95	83,6	82,6	—	—
20	26,8	21,2	20,2	100	121	3,0	115	114	103,0	102,0	—	—
25	33,5	27,1	26,1	125	140	3,0	134	133	128,2	127,2	—	—
32	42,3	35,9	34,9	150	168	4,5	159	158	153,4	152,4	—	—
40	48,0	41,0	40,0	175	180	4,5	171	170	—	—	—	—
50	60,0	53,0	52,0	200	219	4,5	210	209	203,6	202,6	—	—
70	75,5	67,5	66,5	250	273	6,0	261	260	254,0	253,0	—	—
80	88,5	80,5	79,5	300	325	7,0	311	311	304,4	304,4	—	—
90	101,3	93,3	92,3	350	377	7,0	363	363	—	—	352,4	352,4
100	114,0	105,0	104,0	400	426	6,0	414	414	—	—	401,4	401,4
125	140,0	131,0	130,0	450	480	7,0	466	466	—	—	450,6	450,6
150	165,0	156,0	155,0	500	530	7,0	516	516	—	—	500,8	500,8
—	—	—	—	600	630	7,0	616	616	—	—	600,2	600,2
—	—	—	—	700	720	7,0	706	706	—	—	699,4	699,4
—	—	—	—	800	820	8,0	804	804	—	—	799,8	799,8
—	—	—	—	900	920	8,0	904	904	—	—	899,2	899,2
—	—	—	—	1000	1020	8,0	1004	1004	—	—	998,4	998,4
—	—	—	—	1200	1220	9,0	1202	1202	—	—	1199,2	1199,2
—	—	—	—	1400	1420	10,0	1400	1400	—	—	—	—
—	—	—	—	1500	1520	10,0	1500	1500	—	—	—	—
—	—	—	—	1600	1620	10,0	1600	1600	—	—	—	—

Таблица 2. Расчетные значения удельных сопротивлений A для неновых стальных и чугунных водопроводных труб (размеры даны в мм)

Трубы стальные водопроводные (газовые). ГОСТ 3262-62			Трубы стальные и чугунные					
Условный проход d	A (для Q в $м^3/сек$)	A (для Q в $л/сек$)	Условный проход d	Трубы стальные электро-сварные. ГОСТ 10704-63			Трубы чугунные напорные. ГОСТ 5525-61 и ГОСТ 9883-61	
				Наружный диаметр d_n	Толщина стенки δ	A (для Q в $м^3/сек$)	класс ЛА	класс А
6	2 211 000 000	2211,0	50	70	2,5	3686,0	11 540	—
8	211 000 000	211,0	60	76	2,5	2292,0	—	—
10	31 430 000	31,43	75	89	2,5	929,4	—	—
15	8 966 000	8,966	80	102	3,0	454,3	953,4	—
20	1 660 000	1,660	100	121	3,0	172,9	311,7	—
25	427 800	0,4278	125	140	3,0	76,36	96,72	—
32	91 720	0,09172	150	168	4,5	30,65	37,11	—
40	44 480	0,04448	175	180	4,5	20,79	—	—
50	11 080	0,011080	200	219	4,5	6,959	8,092	—
70	3 009	0,003009	250	273	6,0	2,187	2,528	—
80	1 167	0,001167	300	325	7,0	0,8466	0,9485	—
90	529,4	0,0005294	350	377	7,0	0,3731	—	0,4365
100	281,3	0,0002813	400	426	6,0	0,1859	—	0,2189
125	86,22	0,00008622	450	480	7,0	0,09928	—	0,1186
150	33,94	0,00003394	500	530	7,0	0,05784	—	0,06778
—	—	—	600	630	7,0	0,02262	—	0,02596
—	—	—	700	720	7,0	0,01098	—	0,01154
—	—	—	800	820	8,0	0,005514	—	0,005669
—	—	—	900	920	8,0	0,002962	—	0,003047
—	—	—	1000	1020	8,0	0,001699	—	0,001750
—	—	—	1200	1220	9,0	0,0006543	—	0,0006625
—	—	—	1400	1420	10,0	0,0002916	—	—
—	—	—	1500	1520	10,0	0,0002023	—	—
—	—	—	1600	1620	10,0	0,0001437	—	—

В соответствии с формулами (6) и (7) значения поправочного коэффициента K_1 , учитывающего неквадратичность зависимости потерь напора от средней скорости движения воды, определяются выражением

$$K_1 = 0,852 \left(1 + \frac{0,867}{v} \right)^{0,3} \quad (9)$$

Значения коэффициента K_1 , подсчитанные по формуле (9), даны в табл. 3.

Как уже указывалось, расчетные таблицы составлены применительно к средним условиям работы трубопроводов. В тех случаях, когда внутренняя поверхность стенок труб подвергается усиленной коррозии или когда идет процесс интенсивного зарастания труб, к приводимым в расчетных таблицах значениям 1000 i вводится поправочный коэффициент, численное значение которого должно быть установлено в соответствии с величинами потерь напора в уже проло-

Таблица 3. Поправочные коэффициенты K_1 к расчетным значениям A для неновых стальных и чугунных труб

v в $м/сек$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
K_1	1,41	1,33	1,28	1,24	1,20	1,175	1,15	1,13	1,115

Продолжение табл. III

v в $м/сек$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	1,0	1,1	1,2
K_1	1,10	1,085	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,015	1,0

женных трубопроводах данной системы водоснабжения или другой системы водоснабжения с аналогичными условиями работы трубопроводов.

Однако при этом следует иметь в виду, что превышение фактических потерь напора над теми, которые соответствуют расчетным таблицам, свидетельствует о недопустимом снижении пропускной способности трубопроводов и необходимости принятия надлежащих мер по ее восстановлению¹.

Расчетными таблицами не следует пользоваться при проверке условий работы только что проложенных водопроводных линий из новых труб или когда при укладке труб и последующей эксплуатации приняты специальные меры, предохраняющие внутреннюю поверхность стенок труб от коррозии и от образования на них отложений. В этих случаях расчет должен производиться по формулам для новых стальных или чугунных водопроводных труб.

Определение потерь напора в новых стальных или чугунных трубах можно производить по удельному сопротивлению, которое имеет следующее значение:

$$A = \frac{i}{Q^2} = \frac{0,001314}{d_p^{5,226}} \left(1 + \frac{0,684}{v}\right)^{0,226}; \quad (10)$$

для новых чугунных труб [в соответствии с формулой (3a)]

$$A = \frac{i}{Q^2} = \frac{0,001190}{d_p^{5,284}} \left(1 + \frac{2,361}{v}\right)^{0,284}. \quad (11)$$

Поскольку новые стальные и чугунные водопроводные трубы при обычных скоростях движения воды оказываются работающими в переходной области, удельное сопротивление их зависит от скорости движения воды. Для удобства гидравлических расчетов рекомендуется принимать в качестве исходного то значение удельного сопротивления, которое соответствует скорости движения воды $v=1$ м/сек, с введением при других скоростях поправки на неквадратичность зависимости потерь напора от расхода (скорости движения) воды. При скорости движения воды $v=1$ м/сек формулы (10) и (11) принимают вид:

$$A = \frac{0,001478}{d_p^{5,226}}; \quad (12)$$

для новых чугунных труб

$$A = \frac{0,001679}{d_p^{5,284}} \quad (13)$$

Значения A , подсчитанные по формулам (12) и (13), приведены в табл. 4.

Таблица 4. Значения удельных сопротивлений A при $v=1$ м/сек для новых стальных и чугунных водопроводных труб (размеры даны в мм)

Трубы стальные водогазопроводные (газовые), ГОСТ 3262-62			Трубы стальные и чугунные					
			Условный проход d	Трубы стальные электросварные, ГОСТ 10704-63			Трубы чугунные напорные, ГОСТ 5525-61 и ГОСТ 9583-61	
Условный проход d	A (для Q в м ³ /сек)	A (для Q в л/сек)		Наружный диаметр d_n	Толщина стенки δ	A (для Q в м ³ /сек)	класс ЛА	класс А
							A (для Q в м ³ /сек)	A (для Q в м ³ /сек)
6	508 800 000	508,8	50	70	2,5	2362,0	9604,0	—
8	68 510 000	68,51	60	76	2,5	1494,0	—	—
10	4 222 000	4,222	75	89	2,5	624,8	—	—
15	3 962 000	3,962	80	102	3,0	307,8	831,7	—
20	824 600	0,8246	100	121	3,0	119,8	276,1	—
25	228 500	0,2285	125	140	3,0	53,88	83,61	—
32	52 570	0,05257	150	168	4,5	22,04	34,09	—
40	26 260	0,02626	175	180	4,5	15,09	—	—
50	6864	0,006864	200	219	4,5	5,149	7,399	—
70	1940	0,001940	250	273	6,0	1,653	2,299	—
80	772,7	0,0007727	300	325	7,0	0,6619	0,8336	—
90	360,1	0,0003601	350	377	7,0	0,2948	—	0,4151
100	192,7	0,0001927	400	426	6,0	0,1483	—	0,2085
125	60,65	0,00006065	450	480	7,0	0,08001	—	0,1134
150	24,35	0,00002435	500	530	7,0	0,04692	—	0,06479
—	—	—	600	630	7,0	0,01859	—	0,02493
—	—	—	700	720	7,0	0,009119	—	0,01111
—	—	—	800	820	8,0	0,004622	—	0,005452
—	—	—	900	920	8,0	0,002504	—	0,002937
—	—	—	1000	1020	8,0	0,001447	—	0,001699
—	—	—	1200	1220	9,0	0,0005651	—	0,0006430
—	—	—	1400	1420	10,0	0,0002547	—	—
—	—	—	1500	1520	10,0	0,0001776	—	—
—	—	—	1600	1620	10,0	0,0001268	—	—

¹ Например, см. статью: В. Ф. Тольцман. Гидравлический расчет водопроводных труб. «Водоснабжение и санитарная техника», 1959, № 5.

Поправочный коэффициент K , на который при $v \neq 1$ м/сек следует умножить значение A , приведенное в табл. 4, находим, сопоставляя формулы (10) и (12), а также (11) и (13), по выражениям:

$$K = 0,889 \left(1 + \frac{0,684}{v} \right)^{0,225} \quad (14)$$

для новых ст. труб

$$K = 0,709 \left(1 + \frac{2,36}{v} \right)^{0,284} \quad (15)$$

Значения поправочного коэффициента K , подсчитанные по формулам (14) и (15), даны в табл. 5.

Таблица 5. Поправочные коэффициенты K к значениям A для новых стальных и чугунных труб

v в м/сек	Значения K для новых труб		v в м/сек	Значения K для новых труб	
	сталь- ных	чугун- ных		сталь- ных	чугун- ных
0,20	1,244	1,462	1,3	0,979	0,951
0,25	1,198	1,380	1,4	0,972	0,938
0,30	1,163	1,317	1,5	0,968	0,927
0,35	1,138	1,267	1,6	0,965	0,917
0,40	1,113	1,226	1,7	0,961	0,907
0,45	1,095	1,192	1,8	0,958	0,899
0,50	1,081	1,163	1,9	0,954	0,891
0,55	1,067	1,138	2,0	0,951	0,884
0,60	1,057	1,115	2,1	0,947	0,878
0,65	1,046	1,096	2,2	0,946	0,871
0,70	1,039	1,078	2,3	0,943	0,866
0,75	1,029	1,062	2,4	0,941	0,861
0,80	1,021	1,047	2,5	0,939	0,856
0,85	1,016	1,034	2,6	0,937	0,851
0,90	1,011	1,021	2,7	0,936	0,847
1,0	1,0	1,0	2,8	0,934	0,843
1,1	0,993	0,988	2,9	0,933	0,839
1,2	0,986	0,965	3,0	0,932	0,836

Б. АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ ТРУБЫ

Для асбестоцементных труб в результате исследований, проведенных автором во ВНИИ ВОДГЕО, получено следующее выражение для коэффициента сопротивления трения по длине:

$$\lambda = \frac{0,184}{d_p^{0,190}} \left(0,37 \cdot 10^{-6} + \frac{v}{v} \right)^{0,190} \quad (16)$$

или приняв $v = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/сек,

$$\lambda = \frac{0,011}{d_p^{0,190}} \left(1 + \frac{3,5}{v} \right)^{0,190} \quad (16a)$$

Подстановка в формулу (1) значения λ , определяемого выражением (16a), дает расчетную формулу для асбестоцементных водопроводных труб:

$$i = 0,000561 \frac{v^2}{d_p^{1,190}} \left(1 + \frac{3,51}{v} \right) \quad (17)$$

Предлагаемые таблицы для гидравлического расчета асбестоцементных водопроводных труб составлены по формуле (17). Величины внутренних диаметров приняты по ГОСТ 539—65.

Таблицы составлены для труб марок ВТЗ, ВТ6, ВТ9 и отдельно для труб марки ВТ12. Кроме того, приведена таблица для труб с диаметром условного прохода 600, 700, 800, 900 и 1000 мм, которые изготавливаются по соглашению потребителя с заводом-изготовителем.

В расчетных таблицах IV, V и VI для определенных величин диаметра условного прохода d даны значения 1000 i , соответствующие потере напора в миллиметрах на 1 м или в метрах на 1 км длины трубопровода, и v в м/сек при различных расходах Q в л/сек.

Величина удельного сопротивления определяется в соответствии с формулой (17) следующим выражением:

$$A = \frac{i}{Q^2} = \frac{0,000910}{d_p^{5,190}} \left(1 + \frac{3,51}{v} \right)^{0,190} \quad (18)$$

Поскольку асбестоцементные водопроводные трубы при всех практически возможных скоростях движения воды оказываются работающими в переходной области, для удобства гидравлических расчетов (в частности, для возможности использования при расчете кольцевых водопроводных сетей обычной логарифмической линейки) примем, как и для новых чугунных и стальных водопроводных труб, в качестве исходного значение удельного сопротивления при $v = 1$ м/сек. Тогда формула (18) принимает вид

$$A = \frac{0,001212}{d_p^{5,190}} \quad (19)$$

Значения A , подсчитанные по формуле (19), приведены в табл. 6.

Таблица 6. Значения удельных сопротивлений A при $v = 1$ м/сек для асбестоцементных труб (ГОСТ 539—65)

Условный проход в мм	Значения A (при Q в м ³ /сек) для труб марок			
	ВТЗ, ВТ6, ВТ9	ВТ12	ВТЗ, ВТ6	
50	6851	—	—	
75	835,3	—	—	
100	187,7	—	—	
125	76,08	—	—	
150	31,55	39,54	—	
200	6,898	8,632	—	
250	2,227	2,605	—	
300	0,9140	1,083	—	
350	0,4342	0,5115	—	
400	0,2171	0,2579	—	
500	0,07138	0,08489	—	
600	—	—	0,02123	
700	—	—	0,009536	
800	—	—	0,004770	
900	—	—	0,002588	
1000	—	—	0,001498	

Поправочный коэффициент K , на который при $v \neq 1$ м/сек следует умножать значения A , приведенные в табл. 6, находим, сопоставляя формулы (18) и (19), по выражению

$$K = 0,751 \left(1 + \frac{3,51}{v} \right)^{0,190}. \quad (20)$$

Значения поправочного коэффициента K , подсчитанные по формуле (20), даны в табл. 7.

Таблица 7. Поправочные коэффициенты K к значениям A для асбестоцементных труб

v в м/сек	K	v в м/сек	K	v в м/сек	K	v в м/сек	K
0,20	1,308	0,85	1,025	2,1	0,905	3,8	0,850
0,25	1,257	0,90	1,016	2,2	0,900	4,0	0,846
0,30	1,217	1,0	1,0	2,3	0,895	4,2	0,843
0,35	1,185	1,1	0,986	2,4	0,891	4,4	0,840
0,40	1,158	1,2	0,974	2,5	0,887	4,6	0,836
0,45	1,135	1,3	0,963	2,6	0,883	4,8	0,834
0,50	1,115	1,4	0,953	2,7	0,880	5,0	0,831
0,55	1,098	1,5	0,944	2,8	0,876	5,5	0,825
0,60	1,082	1,6	0,936	2,9	0,873	6,0	0,820
0,65	1,069	1,7	0,928	3,0	0,870	6,5	0,815
0,70	1,056	1,8	0,922	3,2	0,864	7,0	0,811
0,75	1,045	1,9	0,916	3,4	0,859	7,5	0,808
0,80	1,034	2,0	0,910	3,6	0,855	$\geq 7,8$	0,806

Как показал опыт эксплуатации асбестоцементных водопроводных труб, заметного возрастания их шероховатости обычно не происходит. Благодаря этому таблицами, составленными для асбестоцементных труб, можно пользоваться при расчете как новых, так и неновых водопроводных труб.

В. ПЛАСТМАССОВЫЕ ТРУБЫ

Проведенные исследования¹ показали, что гидравлическое сопротивление пластмассовых труб отечественного производства (из полиэтилена и винипласта) идентично сопротивлению гидравлически гладких труб.

Для определения величины коэффициента сопротивления трения по длине гидравлически гладких труб автором предложена следующая формула:

$$\lambda = \frac{0,25}{Re^{0,226}} \quad (21)$$

где $Re = \frac{vd}{\nu}$ — число Рейнольдса.

В формулу (21) необходимо ввести коэффициент, равный 1,15, учитывающий разницу качества укладки труб в лаборатор-

¹ Выполнены канд. техн. наук
В. Ф. Толыманом.

ных и производственных условиях, а также влияние стыков. С учетом этого коэффициента при $v=1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/сек формула (21) принимает вид

$$\lambda = \frac{0,01344}{d_p^{0,226} v^{0,226}}. \quad (22)$$

Подстановка в формулу (1) значения λ , определяемого выражением (22), дает расчетную формулу для пластмассовых водопроводных труб

$$i = 0,000685 \frac{v^{1,774}}{d_p^{1,226}}. \quad (23)$$

Предлагаемые таблицы для гидравлического расчета пластмассовых водопроводных труб составлены по формуле (23).

Величины внутренних диаметров приняты по Межгосударственному техническим условиям (МРТУ 6-05-917-67) на трубы напорные из полиэтилена высокой плотности, которые из всех пластмассовых труб находят в водоснабжении в настоящее время наибольшее применение.

В указанных МРТУ допускаемые отклонения от номинальных для наружного диаметра и толщины стенки предусмотрены примерно одинаковых размеров и со знаком «плюс», что дает основание с достаточной для практических целей точностью принять в качестве расчетных номинальные внутренние диаметры этих труб. Для наружных диаметров 16—160 мм принят тяжелый тип труб (на максимальное рабочее давление 10 кгс/см²), для наружного диаметра 225 мм — средний тип (на максимальное рабочее давление 6 кгс/см²) и для наружных диаметров 280 и 315 мм — среднелегкий тип (на максимальное рабочее давление 4 кгс/см²).

В расчетной табл. VII для определенных величин наружных диаметров d даны значения 1000 i , соответствующие потере напора в миллиметрах на 1 м или в метрах на 1 км длины трубопровода, и v в м/сек при различных расходах Q в л/сек.

Величина удельного сопротивления в соответствии с формулой (23) будет

$$A = \frac{i}{Q^2} = \frac{0,00111}{v^{0,226} d_p^{5,226}}. \quad (24)$$

При скорости $v=1$ м/сек выражение (24) принимает вид

$$A = \frac{0,00111}{d_p^{5,226}} \quad (25)$$

Значения A , подсчитанные по формуле (25), даны в табл. 8.

Поправочный коэффициент K , на который при $v \neq 1$ м/сек следует умножать значения A , приведенные в табл. 8, находим, сопоставляя формулы (24) и (25), по выражению

$$K = \frac{1}{v^{0,226}} \quad (26)$$

Таблица 8. Значения удельных сопротивлений A при $v=1$ м/сек для пластмассовых труб (МРТУ 6-05-917-67)

Наружный диаметр в мм	Среднелегкий тип СЛ		Средний тип С		Тяжелый тип Т	
	A (для Q в м³/сек)	A (для Q в л/сек)	A (для Q в м³/сек)	A (для Q в л/сек)	A (для Q в м³/сек)	A (для Q в л/сек)
16	—	—	—	—	12 120 000	12,12
20	—	—	—	—	2 695 000	2,695
25	—	—	—	—	757 600	0,7576
32	—	—	—	—	204 800	0,2048
40	—	—	—	—	65 350	0,06535
50	—	—	—	—	20 230	0,02023
63	—	—	—	—	6 051	0,006051
75	—	—	—	—	2 431	0,002431
90	—	—	—	—	926,9	0,0009269
110	—	—	—	—	323,9	0,0003239
140	—	—	—	—	92,47	0,00009247
160	—	—	—	—	45,91	0,00004591
225	—	—	5,069	0,00005069	—	—
280	1,308	0,000001308	—	—	—	—
315	0,7082	0,000007082	—	—	—	—

Значения поправочного коэффициента K , подсчитанные по формуле (26), приведены в табл. 9.

Таблица 9. Поправочные коэффициенты K к значениям A для пластмассовых труб

v в м/сек	K	v в м/сек	K	v в м/сек	K
0,2	1,439	0,8	1,052	1,9	0,865
0,25	1,368	0,85	1,043	2,0	0,855
0,3	1,313	0,9	1,024	2,1	0,846
0,35	1,268	1,0	1,0	2,2	0,837
0,4	1,230	1,1	0,981	2,3	0,828
0,45	1,198	1,2	0,960	2,4	0,821
0,5	1,170	1,3	0,943	2,5	0,813
0,55	1,145	1,4	0,926	2,6	0,806
0,6	1,123	1,5	0,912	2,7	0,799
0,65	1,102	1,6	0,899	2,8	0,792
0,7	1,084	1,7	0,887	2,9	0,786
0,75	1,067	1,8	0,876	3,0	0,780

Благодаря высокой коррозионной стойкости пластмассовых труб увеличение их сопротивления в процессе эксплуатации практически не наблюдается. Поэтому расчетными таблицами можно пользоваться как для новых, так и для неновых пластмассовых труб.

Г. СТЕКЛЯННЫЕ ТРУБЫ

Результаты замеров потерь напора в стеклянных трубах показали, что для их гидравлического расчета может быть использована формула автора (21), определяющая величины коэффициента сопротивления трения для гидравлических гладких труб. Но влияние стыков в стеклянных тру-

бах более ощутимо, чем в трубах из других материалов, и может быть оценено коэффициентом, равным 1,25 (данное значение коэффициента требует дальнейшего уточнения).

С учетом этого коэффициента при $v=1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/сек формула (21) принимает вид

$$\lambda = \frac{0,01461}{d_p^{0,226} v^{0,226}} \quad (27)$$

Путем подстановки в формулу (1) выражения (27) получим расчетную формулу для стеклянных водопроводных труб:

$$i = 0,000745 \frac{v^{1,774}}{d_p^{1,226}} \quad (28)$$

Таблицы для гидравлического расчета стеклянных водопроводных труб составлены по формуле (28), причем величины знутренних диаметров приняты по ГОСТ 8894—58 на трубы стеклянные для напорных трубопроводов.

Учитывая недостаточную изученность влияния стыковых соединений на гидравлическое сопротивление стеклянных труб, при составлении таблиц для запаса за расчетные приняты минимально допустимые внутренние диаметры. В таблицы включены трубы диаметром d_n , равным 45, 68, 93 и 122 мм, а также d_n , равным 169 и 221 мм, предусмотренные проектом нового ГОСТа.

В расчетной таблице VIII для определенных величин наружных диаметров даны значения 1000 i , соответствующие потере напора в миллиметрах на 1 м или в метрах на 1 км длины трубопровода, и v в м/сек при различных расходах Q в л/сек.

Стеклянные трубы являются весьма стойкими против коррозии, благодаря чему расчетными таблицами можно пользоваться как для новых, так и для неновых труб.

Д. ВЫБОР ДИАМЕТРОВ ТРУБ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ФАКТОРА¹

Выбор диаметров труб внешних водопроводных сетей следует, как правило, производить на основе технико-экономического расчета, учитывающего влияние рассматриваемой линии сети на работу системы водоснабжения в целом. В результате такого расчета определяют величины приведенных расходов для каждой линии и по ним выбирают, пользуясь таблицей предельных расходов, соответствующие сортаментные диаметры.

Приближенно величины приведенных расходов можно определить по величинам транспортируемых по данным линиям расходов воды и по условиям строительства и эксплуатации, характеризующим так называемым экономическим фактором Э.

Значение этого фактора определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{m\beta}{ab} \quad (29)$$

Здесь b и a — коэффициент и показатель степени в формуле

$$C = b_0 + bd^a, \quad (30)$$

определяющей стоимость строительства единицы длины стального трубопровода диаметром d ;

Т а б л и ц а 10. Значения коэффициентов и показателей степеней в формулах (29) — (32), зависящие от материала труб

Трубы	Величины					
	n	k	m	a	R	b
Стальные	1,9	0,001790	5,1	1,4	4,6	53
Чугунные	1,9	0,001790	5,1	1,6	3,3	107
Асбестоцементные	1,85	0,001180	4,89	1,95	7,3	78
Пластмассовые	1,774	0,001052	4,774	1,95	4,6	150

Указанные в этой таблице значения n , k и m для стальных и чугунных труб соответствуют предложенной канд. техн. наук М. М. Андрияшевым степенной формуле

$$i = 0,00179 \frac{q^{1,9}}{d^{5,1}}, \quad (33)$$

аппроксимирующей формулы (6) и (7).

По формуле (33) можно определять приближенное значение как для переходной

m — показатель степени в формуле

$$i = k \frac{q^n}{d^m}, \quad (31)$$

определяющей гидравлический уклон в трубопроводе диаметром d при транспортировании по нему расхода воды q ;

$$\beta = \frac{24 \cdot 365}{102} 10^3 \frac{\sigma k}{\eta \left(\frac{1}{T} + R \right)}, \quad (32)$$

где σ — стоимость электроэнергии в руб/квт·ч;

γ — коэффициент неравномерности расходования энергии, зависящий от коэффициента неравномерности потребления и подачи воды;

η — кпд. насосных агрегатов, подающих воду;

T — срок окупаемости в годах;

R — сумма амортизационных отчислений, включая затраты на капитальный ремонт, и отчислений на текущий ремонт в % от строительной стоимости данной линии;

k — коэффициент в формуле (31).

Срок окупаемости T для систем водоснабжения обычно принимают равным 7 годам. Коэффициенты полезного действия η и неравномерности расходования энергии γ в среднем можно принимать равными 0,7.

Значения коэффициентов и показателей степеней в формулах (29) — (32) можно принимать по данным табл. 10.

($v < 1,2$ м/сек), так и для квадратичной ($v \geq 1,2$ м/сек) области.

Значения этих величин для асбестоцементных труб соответствуют предложенной проф. Н. Н. Абрамовым степенной формуле

$$i = 0,00118 \frac{q^{1,85}}{d^{4,89}}, \quad (34)$$

аппроксимирующей формулу (17).

Значения коэффициента b зависят от условий строительства. В табл. 10 даны их средние значения.

Стоимость электроэнергии определяется по тарифу, установленному для данного района.

Значения предельных расходов для определенного сортамента труб зависят от экономического фактора Э. Предельным для данного диаметра труб является такой

¹ Подробнее см. в статье: Л. Ф. Мошин, М. А. Сомов, Г. Л. Храмова, А. С. Чепцов. Технико-экономический расчет водопроводных сетей. «Водоснабжение и санитарная техника», 1969, № 7.

расход, при котором он оказывается экономически равноценным следующему сортаментному диаметру. При расходах, превышающих предельные, надлежит применять следующий сортаментный диаметр.

Величины предельных расходов определяют по формуле

$$q_{\text{пред}} = \left(\frac{b}{\beta} \right)^{\frac{1}{n+1}} \left(\frac{d_2^{\frac{1}{m}} - d_1^{\frac{1}{m}}}{\frac{1}{d_1^{\frac{1}{m}}} - \frac{1}{d_2^{\frac{1}{m}}}} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (35)$$

где d_1 и d_2 — меньший и больший смежные сортаментные диаметры;

α , β , b и n — обозначения в формулах (29) и (31).

При современных стоимостях строительства и тарифах на электроэнергию можно принимать следующие средние значения экономического фактора \mathcal{E} :

для Сибири и Урала 0,5
для центральных и западных районов европейской части СССР 0,75
для южных районов 1

В табл. 11 приведены величины предельных расходов, определенные при указанных выше значениях \mathcal{E} и значениях α , m и n (см. табл. 10).

Таблица 11. Предельные экономические расходы

А. Трубы стальные и чугунные

Условный проход в мм	Экономический фактор					
	Э=0,5		Э=0,75		Э=1,0	
	Трубы					
	стальные	чугунные	стальные	чугунные	стальные	чугунные
50	3,6	2,74	3,1	2,5	2,9	2,2
	1,12	1,31	0,96	1,2	0,90	1,05
60	4,7	—	4,1	—	3,8	—
	1,22	—	1,07	—	0,99	—
75	6,6	—	5,8	—	5,2	—
	1,22	—	1,07	—	0,96	—
80	9,3	6,4	8,1	5,7	7,3	5,2
	1,31	1,19	1,14	1,06	1,03	0,95
100	13,4	10,6	11,7	9,4	10,6	8,4
	1,32	1,30	1,15	1,15	1,04	1,03
125	19,0	16,8	16,6	15,0	15,1	13,3
	1,37	1,33	1,19	1,18	1,09	1,04
150	25,0	28,3	21,8	25,3	19,8	22,4
	1,28	1,56	1,12	1,40	1,02	1,23
175	33,4	—	29,2	—	26,5	—
	1,48	—	1,30	—	1,17	—
200	53,0	51,2	46,0	45,8	42,0	40,6
	1,54	1,58	1,34	1,42	1,22	1,27
250	82,0	82,2	71,0	73,5	65,0	65,3
	1,54	1,63	1,34	1,46	1,22	1,29
300	118	121	103	108	93,0	96,0
	1,55	1,66	1,35	1,48	1,22	1,32
350	161	167	140	149	128	132
	1,56	1,71	1,35	1,53	1,24	1,35
400	211	220	184	197	167	175
	1,56	1,74	1,36	1,56	1,24	1,39
450	268	286	234	254	213	227
	1,57	1,79	1,37	1,59	1,26	1,42