

Э.Х. Одельский

**Гидравлический расчет трубопроводов
разного назначения**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
Э1

Э1 **Э.Х. Одельский**
Гидравлический расчет трубопроводов разного назначения / Э.Х. Одельский – М.: Книга по Требованию, 2023. – 100 с.

ISBN 978-5-458-36029-6

Учебное пособие для студентов вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». В книге даны основные сведения по теории гидродинамики потока разного назначения и гидравлическому расчету современных промышленных систем центрального отопления и вентиляции с минимальным количеством типоразмеров деталей и узлов. Теоретический материал разделен на логические части, после которых приведены конкретные примеры гидравлического расчета трубопроводов.

ISBN 978-5-458-36029-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

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 первоизданном 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.

1. ТРУБЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В табл. 1 приведены основные размеры и характеристики стальных труб, рассчитанных на давление до 20 атм включительно, применяемых при сооружении систем водяного и парового отопления, водяных и паровых тепловых сетей, городских газопроводных сетей, внутридомовых газопроводов и т. п. В этой же таблице помещен ряд вспомогательных величин ($D^{4,75}$, $D^{5,25}$, $l_{экл}$ и др.), облегчающих гидравлические расчеты трубопроводов разного назначения.

В табл. 2 дан сортамент стальных электросварных труб наружного диаметра $D_{нар}$ от 426 до 1420 мм (ГОСТ 4015—52) для магистральных газопроводов дальнего действия. В этой же таблице помещены диаметры условного прохода D_0 и наружные диаметры труб $D_{нар}$.

Внутренние диаметры труб $D_{вн}$, необходимые для гидравлического расчета магистральных газопроводов, определяются по выражению

$$D_{вн} = D_{нар} - 2\delta \text{ мм},$$

где δ — толщина стенки трубы, рассчитываемая на предельное давление газа P по известному выражению

$$\delta = \frac{5P \cdot D_{нар} \cdot n}{\sigma} \text{ мм}.$$

В последнем выражении:

$D_{нар}$ — наружный диаметр трубы, мм;

P — предельное давление газа, ата;

σ — предел текучести металла, кгс/см²; в зависимости от качества металла величина σ принимается равной:

$\sigma_1 = 2600$ кгс/см² и $\sigma_2 = 3300$ кгс/см²;

n — коэффициент запаса прочности; для линейных участков газопровода $n = 1,7$; для ответственных участков газопровода (переходы через реки, болота, железные дороги, автодороги с покрытием и т. п.) $n = 2$.

Показатели	Трубы стальные газовые ГОСТ 3262 – 55						
Условный проход D_0 , мм, дюймы	15, 1/2"	21, 3/4"	25, 1"	32, 1 1/4"	40, 1 1/2"	50, 2"	65, 2 1/2"
Наружный диаметр $D_{нар}$, мм	21,25	26,75	33,5	42,25	48	60	75,5
Внутренний диаметр $D_{ин}$, мм	15,75	21,25	27,0	35,75	41	53	68
Вес 1 пог. м, кг/м	1,25	1,63	2,42	3,13	3,84	4,88	6,64
$\Gamma'_{экв}$ для $\Sigma \xi = 1$, м	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,5	3,5
$D_{ин}^{4,75}$	$49 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^7$	$4,6 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^8$	$5,1 \cdot 10^8$
$D_{ин}^{5,25}$	$1,93 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^5$	$32,7 \cdot 10^5$	$14,3 \cdot 10^7$	$29,3 \cdot 10^7$	$11,3 \cdot 10^8$	$41,8 \cdot 10^8$
$\frac{\pi D_{ин}^2}{4} \times 10^{-5}$	0,7	1,28	2,06	3,6	7,75	7,9	13,05

Диаметр условного прохода D_0 , мм	400	450	500
Наружный диаметр трубы $D_{нар}$, мм	426	478	529
Внутренний диаметр трубы $D_{ин}$, мм	$D_{ин} = D_{нар} - 2\delta$		

2. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

В табл. 3 помещены значения коэффициентов для местных сопротивлений трубопроводов систем водяного и парового отопления, тепловых водяных и паровых сетей, газопроводов низкого, среднего и высокого давлений. Новейшие значения

Таблица 1

Трубы стальные бесшовные ГОСТ 8732—58

80	100	125	150	200	250	300	350	400
89	103	133	159	219	273	325	377	426
81	100	125	150	207	259	309	357	404
8,38	10,26	12,73	17,15	31,52	45,92	62,54	96,67	122,52
4	5	6	8	12	16	20	24	28
$14 \cdot 10^8$	$32 \cdot 10^8$	$9,1 \cdot 10^8$	$22 \cdot 10^8$	$10,2 \cdot 10^{10}$	$29 \cdot 10^{10}$	$6,3 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$26 \cdot 10^{12}$
$115 \cdot 10^8$	$325 \cdot 10^8$	$102 \cdot 10^8$	$266 \cdot 10^8$	$130 \cdot 10^{10}$	$405 \cdot 10^{10}$	$115 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$
18,5	28,26	44	63,5	121	190	270	360	457

Таблица 2

600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
630	720	820	920	1020	1120	1220	1320	1420

(толщина стенки трубы δ рассчитывается на предельное давление газа).

коэффициентов для местных сопротивлений сварных и стандартных тройников и крестовин приведены в специальной литературе.

Величины ξ для местных сопротивлений трубопроводов систем вентиляции, воздушного отопления, пневматического транспорта, сушильных установок и т. п. с достаточной точностью для практических целей помещены в табл. 4.

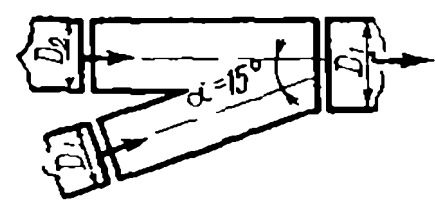
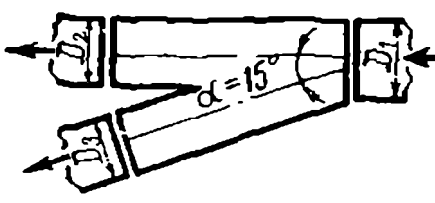
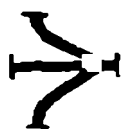
Более подробные данные о величинах ξ приведены в справочнике С. А. Рысина [6].

Таблица 3

Название местного сопротивления	Величина местного сопротивления ξ	
Тройник-проход		1,0
Тройник-поворот		1,5
Тройник при встречных потоках		3,0
Крестовина-проход		2,0
Крестовина-поворот		3,0
Крестовина при встречных потоках		3,0
Внезапное изменение скорости		1,0 (ξ относится к большей скорости)
Отступы		0,5
Котел		2,5 (ξ относится к скорости в подводящих трубах)
Радиатор		2,0
Сварка		0,1

	Условный диаметр D_0 , мм, дюймы							Остальные размеры труб
	8 и 10	15, $\frac{1}{2}$ "	20, $\frac{3}{4}$ "	25, 1"	32, $1\frac{1}{4}$ "	40, $1\frac{1}{2}$ "	50, 2"	
Проходной кран и кран двойной регулировки	—	4	2	2	2	2	—	—
Задвижки параллельные	—	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Вентиль обыкновенный	—	16	10	9	9	8	7	7
Угольник	3,0	2	2	1,5	1,5	1	1	—
Отвод под углом 90°	2,0	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5	0,5
Двойной отвод	3,3	2	2	2	2	2	2	2
Муфта		0,5	—	—	—	—	—	—
Скоба	4,0	3	2	2	2	2	2	—

Таблица 4

№ п.п.	Название местного сопротивления	Величина местного сопротивления ξ
1	Выход из отверстия	1,0
2	Вход в отверстие с острыми краями	0,4
3	Вход в отверстие с закругленными краями	0,1
4	Прямое колено под углом 90° любого диаметра	1,3
5	Прямое колено с лопатками Прандтля	0,35
6	Отвод под углом 90° для $R = D$ $R = 1,5D$ $R = (2 \div 5)D$	0,35 0,15 0,1
7	Жалюзийная решетка	0,5
8	Сетка (при живом сечении 80%)	0,1
9	Тройник (крестовина)-проход (нагнетание или отсасывание) для: $\frac{D_1}{D_2} = 4$ $\frac{D_1}{D_2} = 3$ $\frac{D_1}{D_2} = 2$ $\frac{D_1}{D_2} = 1,5$ $\frac{D_1}{D_2} = 1,4$ $\frac{D_1}{D_2} = 1,2$ $\frac{D_1}{D_2} = 1,12$ $\frac{D_1}{D_2} = 1,05$ $\frac{D_1}{D_2} = 1,03$	 Отсасывающий тройник  0 0,2 0,4 0,7 1 0,7 0,4 0,2 0 Нагнетательный тройник  1,5 
10	Тройник (крестовина)-ответвление, включая отвод	1,5

3. ЗАВИСИМОСТИ, НА ОСНОВЕ КОТОРЫХ СОСТАВЛЕНЫ ТАБЛ. 5, 11, 14, 22, 26 и 28 ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДОВ

В основу составления таблиц для определения удельных потерь давления от трения в прямолинейных и цилиндрических трубопроводах, по которым транспортируются вода, насыщенный пар разных давлений, перегретый пар, горючие газы разного состава и разных давлений, воздух и т. п., положено уравнение Дарси — Вейсбаха в дифференциальной форме:

$$dP = -\lambda \frac{1000}{D} \cdot \frac{w^2}{2g} \gamma dl, \quad (1)$$

где D — диаметр трубопровода, мм.

Условие неразрывности (сплошности) потока выражено зависимостями вида:

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot 10^{-6} \cdot 3600 w \gamma = G \text{ кг/ч};$$

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot 10^{-6} \cdot 3600 w = V \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Из последних уравнений имеем:

$$w = 353,7 \frac{V}{D^2} \text{ м/сек}; \quad (2)$$

$$w = 353,7 \frac{G}{\gamma \cdot D^2} \text{ м/сек}. \quad (3)$$

Далее рассмотрены только два режима движения жидкости: со слабо развитой турбулентностью потока и сильно развитой турбулентностью. Ламинарный режим движения не рассматривается, так как не является устойчивым во всех случаях экспериментальной и технической практики и легко подвергается возмущениям.

Признаком режима движения со слабо развитой турбулентностью является условие

$$Re < 1000 D. \quad (4)$$

Для режима движения потока со слабо развитой турбулентностью безразмерный коэффициент сопротивления λ .

в выражении (1) принят по зависимости Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (5)$$

Признаком, определяющим режим движения с сильно развитой турбулентностью потока, является условие

$$Re > 1000 D. \quad (6)$$

Условия (4) и (6) получены для величины абсолютной шероховатости $\epsilon = 0,1$ мм соответственно из выражений:

$$R < 100 \frac{D}{\epsilon};$$

$$R > 100 \frac{D}{\epsilon}.$$

Для режима движения с сильно развитой турбулентностью потока безразмерный коэффициент сопротивления λ в выражении (1) принят по зависимости проф. П. Л. Давидсона:

$$\lambda = \frac{0,063}{D^{0,25}}. \quad (7)$$

Потери давления в трубопроводах от местных сопротивлений учитываются методом эквивалентных длин, по которому

$$l_{\text{экв}} = \sum \xi \frac{D}{1000\lambda} \text{ м}. \quad (8)$$

В зависимости от режима движения потока величина λ должна исчисляться по выражению (5) для слабо развитой турбулентности и по выражению (7) — для режима движения с сильно развитой турбулентностью потока.

В расчетных табл. 5, 11, 14, 22, 26 и 28 с приемлемой для практики точностью (в сторону расчетного запаса) помещены для каждого диаметра трубопровода величины $l'_{\text{экв}}$ для $\sum \xi = 1$, вычисленные по выражениям (7) и (8).

Значения коэффициентов ξ для местных сопротивлений приведены в табл. 3 и 4.

На участках трубопроводов полная потеря давления (от трения и местных сопротивлений) ΔP (мм вод. ст.) определяется умножением величины R (удельное сопротивление трения) на приведенную длину участка ($L = l + l_{\text{экв}}$), т. е. $\Delta P = RL$ мм вод. ст.

Применение приведенной длины L (м) упрощает процесс гидравлического расчета трубопроводов, освобождая от не-

необходимости пользоваться скоростями движения потоков для определения потери давления от местных сопротивлений.

При необходимости иметь составляющие полной потери давления от трения и местных сопротивлений в отдельности умножают величину R на l , т. е. получают Rl (потеря давления от трения), и определяют величину $z = \sum \xi \frac{w^2}{2g} \gamma$ (потеря давления от местных сопротивлений).

4. РАСЧЕТНАЯ ТАБЛ. 5 ДЛЯ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В основу составления табл. 5 для гидравлического расчета трубопроводов систем водяного отопления и тепловых водяных сетей положено выражение (1), при этом для получения рабочих формул приняты следующие исходные данные: температура воды в трубопроводах $t = 80^\circ\text{C}$, удельный вес воды $\gamma_{t=80^\circ\text{C}} = 972 \text{ кг/м}^3$ и кинематический коэффициент вязкости $\nu_{t=80^\circ\text{C}} = 0,36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек.}$

Для режима движения воды в трубах со слабо развитой турбулентностью потока ($\text{Re} < 1000 D$) выражение (1) с учетом уравнений (3) и (5) после интегрирования и преобразований примет вид

$$R_{\text{сх. труб}} = 414 \frac{G^{1,75}}{D^{4,75}} \text{ мм вод. ст./пог. м.} \quad (9)$$

Для режима движения воды в трубах с сильно развитой турбулентностью ($\text{Re} > 1000 D$) выражение (1) с учетом формул (3) и (7) после интегрирования и преобразований примет вид

$$R_{\text{труб}} = 414 \frac{G^2}{D^{5,25}} \text{ мм вод. ст./пог. м.} \quad (10)$$

В табл. 1 приведены значения величин $D^{4,75}$ и $D^{5,25}$ для всех размеров труб, что облегчает пользование выражениями (9) и (10).

По выражениям (9) и (10) составлена табл. 5 для гидравлического расчета трубопроводов систем водяного отопления и тепловых водяных сетей. В этой таблице помещены для всех диаметров труб величины: G (кг/ч), R (мм вод. ст./пог. м) и $l'_{\text{экв}}$ для $\sum \xi = 1$ (пятая строка сверху); эквивалентную длину на участке трубопровода $l_{\text{экв}}$ получают следующим образом:

$$l_{\text{экв}} = l'_{\text{экв}} \cdot \sum \xi.$$

Таблица 5

Водяное отопление и водяные тепловые сети

Сортамент труб	Трубы стальные газовые ГОСТ 3262—55							Трубы стальные бесшовные ГОСТ 8732—58								
	15, 1/8"	20, 3/8"	25, 1"	32, 1 1/4"	40, 1 1/2"	50, 2"	56, 2 1/2"	80	100	125	150	200	250	300	350	400
Условный проход, мм, дюймы	15, 1/8"	20, 3/8"	25, 1"	32, 1 1/4"	40, 1 1/2"	50, 2"	56, 2 1/2"	80	100	125	150	200	250	300	350	400
Наружный диаметр, мм	21,25	26,75	33,50	42,25	48,00	50,00	75,50	89	108	133	159	219	273	325	377	426
Внутренний диаметр, мм	15,75	21,25	27,00	35,75	41,00	53,00	68,00	81	100	125	150	207	259	309	357	404
$l'_{\text{экв}}$ для $\Sigma \xi = 1$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0	12,0	16,0	20,0	24,0	28,0
Часовая нагрузка G, кг/ч																
R мм вод. ст./пог. м																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,050		21	41	90	134	263	556	922	1576	2840	4650	10680				
0,055		23	43	94	140	276	584	968	1652	2984	4900	11100				
0,050		25	46	100	148	292	618	1024	1748	3160	5180	11760				
0,065		26	48	104	154	304	643	1064	1820	3280	5400	12240				
0,070		27	50	108	161	317	670	1110	1898	3420	5620	12760				
0,075		28	52	113	168	332	700	1160	1982	3580	5880	13360				
0,080		29	54	117	174	342	724	1200	2052	3708	6080	13820				
0,090	12,5	31	58	126	186	366	774	1280	2192	3960	6480	14760				
0,100	14	33	61	133	198	390	824	1354	2332	4212	6900	15680				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,11	15	35	65	141	210	412	872	1444	2468	4460	7320	16600				
0,12	16	37	68	148	220	428	916	1518	2592	4680	7680	17440				
0,13	17	39	71	155	230	452	958	1588	2712	4900	8040	18260				
0,14	18	40	74	162	240	472	998	1658	2820	5112	8380	19000				
0,15	18,5	42	77	168	250	492	1040	1722	2944	5320	8720	19800				
0,16	19	44	80	174	260	512	1080	1792	3060	5524	9060	20600				
0,17	20	45	83	180	268	528	1114	1848	3160	5700	9360	21240				
0,18	20,5	47	86	186	276	544	1152	1908	3260	5880	9680	22000				
0,19	21	48	88	192	286	564	1194	1978	3380	6100	10000	22720				
0,20	22	49	91	198	294	578	1224	2000	3460	6260	10240	23360				
0,22	23	52	96	209	310	612	1296	2144	3660	6640	10880	24660				
0,24	24	55	101	220	326	642	1356	2248	3840	6960	11380	25840				
0,26	25	57	106	230	345	672	1424	2350	4032	7280	11920	27040				
0,28	26	60	110	240	358	704	1488	2464	4220	7620	12480	28400				
0,30	27	62	115	250	372	732	1544	2560	4368	7900	12960	29400				
0,33	29	66	121	262	390	770	1624	2700	4600	8320	13640	31000				
0,36	30,5	69	127	276	412	808	1708	2840	4840	8760	14360	32600				
0,40	32	74	135	294	437	860	1820	3020	5160	9300	15280	34600				
0,45	35	80	146	319	474	936	1970	3260	5580	10100	16560	37600				
0,50	37	83	154	334	496	976	2064	3420	5848	10560	17348	39400				
0,55	39	88	162	352	524	1036	2180	3612	6164	11160	18280	41600				
0,60	41	93	170	372	552	1088	2296	3800	6500	11760	19240	43600				
0,65	42	97	178	388	576	1136	2400	3980	6800	12280	20160	45280				
0,70	44	101	186	404	602	1184	2500	4152	7080	12800	21000	47000				
0,75	46	105	194	420	626	1236	2609	4320	7360	13320	21800	48800				
0,80	48	109	201	438	652	1280	2710	4484	7680	13840	22600	50200				
0,90	51	117	214	468	696	1368	2890	4792	8180	14800	24000	53200				
1,00	54	124	228	496	738	1454	3072	5088	8696	15716	25380	56160				
1,10	58	130	241	524	780	1536	3240	5364	9200	16540	26600	59000				
1,20	60	138	253	552	810	1616	3404	5644	9660	17280	27880	61800				