

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА

ВОДООТВОДЯЩИХ САМОТЕЧНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПЛАСТМАССОВЫХ ТРУБ

Юрий Воронов

д.т.н., проф., декан ф-та водоснабжения и водоотведения МГСУ

Евгений Пугачев

к.т.н., проф. каф. водоотведения МГСУ

Екатерина Перевозникова

вед. специалист «Евротрубпласт»

Расчетные гидравлические параметры труб круглого сечения

Гидравлический расчет круглых трубопроводов заключается в определении диаметра d (м), наполнения h/d (в долях диаметра), скорости течения потока v (м/с), гидравлического уклона i при заданном расходе q (м³/с).

Основной гидравлической характеристикой потока является гидравлический радиус

$$R = \omega / \chi, \quad (1)$$

где ω – площадь живого сечения потока (м²),
 χ – длина смоченного периметра трубы (м) в плоскости, перпендикулярной вектору скорости.

Для удобства проведения гидравлического расчета для различных значений наполнений в трубах в интервале от

$h/d = 0,1$ до $h/d = 1$ подсчитаны значения гидравлических параметров. Результаты расчетов, выполненные под руководством Я.А.Карелина [1], представлены в таблице 1.

Значения минимально допустимых уклонов в зависимости от диаметра трубопровода

Минимально допустимые диаметры и уклоны, обеспечивающие в трубах самоочищающие скорости, необходимо подбирать, исходя из опыта эксплуатации водоотводящих сетей [2]. Минимальный диаметр бытовой городской водоотводящей уличной сети следует принимать равным $d = 200$ мм, внутриквартальной сети – $d = 160$ мм [2, 3]. Минимальный диаметр дождевой и редко используемой общесплавной систем водоотведения уличной сети следует принимать $d = 250$ мм, внутриквартальной сети – $d = 200$ мм. Минимальный уклон трубопроводов любого назначения должен обеспечи-

Табл. 1. Расчетные значения гидравлических параметров труб

Наполнение в долях диаметра (h/d)	Площадь живого сечения в долях квадрата диаметра (ω/d^2)	Смоченный периметр в долях диаметра (χ/d)	Гидравлический радиус в долях диаметра (R/d)
0,1	0,0409	0,6441	0,0625
0,2	0,1118	0,9270	0,1206
0,3	0,1982	1,1597	0,1709
0,4	0,2934	1,3697	0,2142
0,5	0,3927	1,5708	0,2500
0,6	0,4920	1,7723	0,2776
0,7	0,5872	1,9825	0,2962
0,8	0,6736	2,2143	0,3042
0,9	0,7445	2,4983	0,2980
1	0,7854	3,1416	0,2500

вать самоочищающую скорость потока в отношении расчетной частицы песка шарообразной формы размером 500 мк и плотностью $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$. Принятые на основании опыта эксплуатации значения минимальных уклонов, соответствующих различным минимальным диаметрам, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения минимально допустимых уклонов в зависимости от диаметра труб для внутриквартальных сетей

d, мм	125-140	160-200
Минимальный уклон i	0,009	0,007-0,005

При диаметрах трубопроводов свыше $d = 200 \text{ мм}$ наименьший уклон i_{\min} определяют по формуле [2]:

$$i_{\min} = a_i / d, \quad (2)$$

где d – диаметр трубопровода в мм;
 a_i – коэффициент, принимаемый по рекомендациям [2].
 Значения d и a_i представлены в таблице 3.

Рекомендуемые наполнения в самотечных трубопроводах

Частичное наполнение самотечных трубопроводов обеспечивает удаление из них газов, а также пропуск возможных неучтенных дополнительных расходов сточных вод. Оптимальные наполнения в трубах различных диаметров [2, 4, 5] представлены в таблице 4.

Для водостоков и низкоконцентрированных промстоков рекомендуется более полное заполнение трубопроводов, так как максимальные расчетные расходы воды происходят через значительные интервалы времени. В таблице 5 представлены эти рекомендации [1].

Определение скорости потока сточных вод

Значения скоростей принимают в зависимости от условий канализования. При минимальных уклонах, имеющих место в большинстве случаев на практике, принимают минимально

допустимые скорости, при которых происходит удовлетворительная работа водоотводящих сетей. Эти минимально допустимые скорости зависят от транспортирующей способности потока и определяются условиями осаждения механических примесей на лоток трубы. Значения рекомендуемой [1-5] самоочищающей скорости указаны в таблице 6.

Формулы для гидравлического расчета безнапорной водоотводящей сети из пластмассовых труб

Гидравлический расчет водоотводящих сетей выполняют с помощью формул равномерного установившегося движения жидкости в самотечном безнапорном потоке.

Вычисления проводятся с использованием формулы расхода [6]

$$q = \omega \cdot v \quad (3)$$

и [7] формулы Дарси для определения гидравлического уклона

$$i = \frac{\lambda_{\text{п}}}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

где q – расход стоков ($\text{м}^3/\text{с}$);
 ω – площадь живого сечения потока (м^2);
 v – средняя скорость потока ($\text{м}/\text{с}$);
 i – уклон трубы, принимается численно равным гидравлическому уклону свободной поверхности воды при равномерном установившемся движении потока;
 R – гидравлический радиус (м);
 g – ускорение свободного падения ($\text{м}/\text{с}^2$);
 $\lambda_{\text{п}}$ – коэффициент гидравлического трения пластмассовых труб.

Экспериментальные гидравлические исследования, выполненные в России [1] на пластмассовых трубах диаметром 110, 160 и 225 мм на водопроводной воде и промстоках, по-

Таблица 3. Рекомендуемые значения коэффициента a_i для определения минимального уклона по формуле (2)

d, мм	250	315	400	500	630	800	1000	1200
a_i	1	1	1	1	1,1	1,1	1,3	1,3

Таблица 4. Значения рекомендуемых наполнений в трубах для бытовой канализации

d, мм	125	160-315	400	500-800	1000-1200
наполнение h/d	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8

Таблица 5. Значения рекомендуемых наполнений для водостоков и низкоконцентрированных промстоков

d, мм	125-250	315-500	630-1200
наполнение h/d	0,8	0,9	1

Таблица 6. Зависимость минимальной скорости потока от диаметра трубы

d, мм	125-250	315-400	500	630-800	1000-1200
$v_{\min}, \text{ м/с}$	0,7	0,8	0,9	1,0	1,15

казали, что коэффициент гидравлического трения пластмассовых труб при небольших наполнениях ($h/d = 0,3$) подчиняется закону гидравлически гладких труб. При значениях наполнений более $h/d = 0,3$ сопротивление может несколько возрасти из-за возможности возникновения локальной турбулентности вблизи внутренней поверхности пластмассовых труб. Для учета воздействия фактуры внутренней поверхности на гидравлическое сопротивление рекомендуется использовать безразмерный поправочный параметр k , зависящий от наполнения трубопровода h/d , представленный в таблице 7.

Коэффициент гидравлического трения пластмассовых труб при самотечном движении потока жидкости определяют [1, 5, 6], используя значения параметра k , представленные в таблице 7, по формуле:

$$\lambda_n = k \cdot \lambda_r, \tag{5}$$

где λ_r – коэффициент гидравлического трения гидравлически гладких труб.

Способ вычисления коэффициента λ_r зависит от режима работы трубопровода и характера движения в нем жидкости, которые описываются числом Рейнольдса (Re).

$$Re = v \cdot 4R/\nu, \tag{6}$$

где v – средняя скорость потока (м/с);
 R – гидравлический радиус (м);
 ν – значение кинематической вязкости жидкости, при температуре 20°C $\nu = 1,03 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Для расчета коэффициента λ_r существует несколько различных методик [1, 4, 6]. При наших условиях коэффициент λ_r рекомендуется определять по формуле Блазиуса:

$$\lambda_r = 0,3164/Re^{0,25} \tag{7}$$

Таблица 7. Значения безразмерного поправочного параметра k

Наполнение трубопровода h/d	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
k	1,00	1,00	1,00	1,07	1,13	1,19	1,24	1,25	1,25	1,25

Табл. 8. Рекомендуемые значения минимальных уклонов и диаметров труб «Корсис» в зависимости от требуемой пропускной способности трубопровода q

Расход q , л/с	Скорость v , м/с	Наполнение h/d	i_{min}	d , мм
<5	–	–	0,009	125
<5	–	–	0,007	160
5	0,84	0,3	0,004	200
10	1,08	0,4	0,005	200
20	0,98	0,6	0,005	250
50	1,08	0,7	0,0025	315
100	1,26	0,6	0,0025	400
200	1,46	0,75	0,0025	500
500	1,17	0,75	0,0017	630
500	1,17	0,75	0,0014	800
1000	1,17	0,8	0,0013	1000
1000	1,17	0,8	0,0011	1200

Составление таблиц для гидравлического расчета двухслойных гофрированных труб «Корсис»

Гидравлический расчет самотечных пластмассовых трубопроводов должен выполняться для температуры сточных вод, близкой к 20°C.

Для каждого выбранного диаметра трубопровода рассчитываются значения пропускной способности (расхода сточных вод) q (л/с) и скорости потока v (м/с) для различных значений наполнения h/d и уклона трубопровода i .

Значения гидравлических параметров работы трубопроводов подсчитаны по методике расчета, изложенной выше, с учетом величин проходных диаметров для труб «Корсис». С учетом уточнения условных проходов для сортамента двухслойных гофрированных труб «Корсис» гидравлические параметры, представленные в настоящих таблицах, несколько отличаются от соответствующих параметров, представленных в справочном пособии [1].

Возможные отклонения от табличных величин на практике могут объясняться влиянием локальных характеристик движения жидкости в трубе на гидравлические параметры самотечного трубопровода.

При необходимости, исходя из опыта эксплуатации или после соответствующих гидравлических испытаний для каждого диаметра труб «Корсис», в рассчитанные гидравлические параметры могут быть внесены поправочные коэффициенты.

Участки с пропускной способностью $q < 5$ л/с не рассчитываются.

Значения скоростей принимаются не ниже указанных по техническим условиям эксплуатации [2].

Значения наполнений принимаются не выше указанных по техническим условиям эксплуатации [2].

Таблица для гидравлического расчета водоотводящих безнапорных сетей из полиэтиленовых гофрированных труб КОРСИС

Номинальный диаметр 500 мм, условный проход 427 мм

h/d	0.1		0.2		0.3		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1	
	q	v	q	v	q	v	q	v	q	v	q	v	q	v	q	v	q	v	q	v
0.0012	2.37	0.318	10.37	0.509	23.57	0.652	39.43	0.737	57.12	0.798	74.87	0.835	91.41	0.854	106.39	0.866	115.87	0.854	107.85	0.753
0.0013	2.49	0.333	10.85	0.532	24.67	0.683	41.27	0.772	59.79	0.835	78.37	0.874	95.68	0.894	111.36	0.907	121.28	0.893	112.89	0.788
0.0014	2.59	0.348	11.32	0.555	25.74	0.712	43.06	0.805	62.37	0.871	81.75	0.911	99.82	0.932	116.16	0.946	126.52	0.932	117.76	0.822
0.0015	2.70	0.362	11.78	0.578	26.77	0.741	44.78	0.837	64.87	0.906	85.03	0.948	103.82	0.970	120.83	0.984	131.60	0.969	122.49	0.855
0.0016	2.80	0.375	12.22	0.599	27.77	0.768	46.46	0.869	67.31	0.940	88.22	0.983	107.71	1.006	125.36	1.021	136.53	1.006	127.08	0.887
0.0017	2.90	0.388	12.65	0.620	28.75	0.796	48.10	0.899	69.67	0.973	91.32	1.018	111.50	1.041	129.77	1.057	141.34	1.041	131.55	0.919
0.0018	2.99	0.401	13.07	0.641	29.70	0.822	49.69	0.929	71.98	1.005	94.35	1.052	115.20	1.076	134.07	1.092	146.02	1.076	135.91	0.949
0.0019	3.09	0.414	13.48	0.661	30.63	0.848	51.25	0.958	74.24	1.037	97.30	1.085	118.81	1.110	138.27	1.126	150.59	1.109	140.17	0.979
0.0020	3.18	0.426	13.88	0.681	31.54	0.873	52.77	0.986	76.44	1.068	100.19	1.117	122.33	1.143	142.37	1.159	155.06	1.142	144.33	1.008
0.0025	3.61	0.484	15.76	0.773	35.82	0.991	59.93	1.120	86.81	1.212	113.79	1.268	138.93	1.298	161.69	1.317	176.11	1.297	163.92	1.145
0.0030	4.00	0.537	17.49	0.858	39.75	1.100	66.50	1.243	96.33	1.345	126.26	1.407	154.16	1.440	179.41	1.461	195.40	1.439	181.88	1.270
0.0035	4.37	0.586	19.09	0.937	43.40	1.201	72.61	1.357	105.18	1.469	137.86	1.537	168.32	1.572	195.90	1.595	213.36	1.572	198.59	1.387
0.0040	4.72	0.633	20.60	1.011	46.83	1.296	78.35	1.465	113.50	1.585	148.77	1.658	181.64	1.697	211.40	1.721	230.24	1.696	214.31	1.497
0.0050	5.36	0.718	23.40	1.148	53.19	1.472	88.99	1.663	128.91	1.800	168.96	1.883	206.30	1.927	240.09	1.955	261.49	1.926	243.39	1.700
0.0060	5.95	0.797	25.96	1.274	59.02	1.633	98.74	1.846	143.03	1.998	187.47	2.090	228.90	2.138	266.39	2.169	290.14	2.137	270.06	1.886
0.0070	6.49	0.870	28.35	1.391	64.44	1.783	107.81	2.015	156.17	2.181	204.70	2.282	249.94	2.334	290.87	2.368	316.81	2.334	294.88	2.059
0.0080	7.01	0.939	30.59	1.501	69.54	1.924	116.34	2.175	168.53	2.354	220.90	2.462	269.71	2.519	313.89	2.556	341.87	2.519	318.21	2.222
0.0090	7.49	1.005	32.72	1.605	74.37	2.058	124.43	2.326	180.24	2.517	236.25	2.634	288.45	2.694	335.70	2.733	365.63	2.694	340.32	2.377
0.0100	7.96	1.067	34.75	1.705	78.98	2.185	132.13	2.470	191.40	2.673	250.88	2.797	306.32	2.861	356.49	2.903	388.27	2.860	361.40	2.524
0.0110	8.40	1.126	36.69	1.800	83.39	2.308	139.52	2.608	202.10	2.823	264.89	2.953	323.43	3.021	376.41	3.065	409.96	3.020	381.59	2.665
0.0120	8.83	1.184	38.55	1.891	87.63	2.425	146.61	2.741	212.38	2.966	278.37	3.103	339.88	3.175	395.55	3.221	430.82	3.174	401.00	2.800
0.0130	9.24	1.239	40.35	1.980	91.72	2.538	153.46	2.869	222.30	3.105	291.37	3.248	355.76	3.323	414.03	3.371	450.94	3.322	419.73	2.931
0.0140	9.64	1.293	42.10	2.065	95.68	2.648	160.09	2.993	231.90	3.239	303.95	3.388	371.12	3.466	431.90	3.517	470.41	3.465	437.85	3.058
0.0150	10.03	1.344	43.79	2.148	99.52	2.754	166.51	3.113	241.20	3.369	316.15	3.524	386.01	3.605	449.24	3.658	489.29	3.604	455.42	3.180
0.0200	11.81	1.584	51.59	2.531	117.27	3.245	196.20	3.668	284.21	3.969	372.52	4.153	454.83	4.248	529.33	4.310	576.52	4.247	536.62	3.747
0.0250	13.42	1.799	58.59	2.874	133.18	3.685	222.83	4.165	322.78	4.508	423.07	4.716	516.56	4.825	601.17	4.895	654.77	4.824	609.45	4.256
0.0300	14.89	1.996	65.02	3.189	147.78	4.089	247.24	4.622	358.15	5.002	469.43	5.233	573.16	5.353	667.05	5.431	726.51	5.352	676.23	4.722

Таблицы гидравлического расчета на весь диапазон диаметров содержатся в техническом руководстве КОРСИС

Пример использования таблиц для расчета трубопроводов для отведения неочищенных городских сточных вод

По заданному максимальному расчетному расходу $q = 180$ л/с для неблагоприятных условий канализования (при уклоне местности $i = 0,003$) подобрать диаметр трубы d (мм), определить скорость v (м/с) и наполнение h/d .

По Таблице 8 подбираем оптимальный диаметр $d = 500$ мм, по таблицам гидравлического расчета находим для $q = 180$ л/с значение $h/d = 0,8$; скорость потока $v = 1,46$ м/с.

Список литературы

1. Карелин Я.А., Яромский В.Н., Евсеева О.Я. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей из пластмассовых труб круглого сечения. М.: Стройиздат, 1986.
2. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. МГСУ. Изд. АСВ, М., 2006.

3. СНиП 40-03-99. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой России. М., 1999.

4. СП 40-102-2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Госстрой России. М., 2001.

5. Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н.Павловского. М.: Стройиздат, 1974.

6. Калицин В.И. Гидравлический расчет водоотводящих сетей. Справочное пособие. М.: Стройиздат, 1988.

7. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1982.

8. Латышенков А.М., Лобачев В.Г. Гидравлика. М., 1956.

9. Константинов Ю.М. и др. Гидравлический расчет сетей водоотведения. Расчетные таблицы. Киев: Будивельник, 1987.

10. Технические условия «Трубы из полиэтилена с двухслойной профилированной стенкой для безнапорных трубопроводов Корсис». ТУ 2248-001-73011750-2005 (ООО «Евротрубпласт»).