

ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Использование напорных полиэтиленовых (ПЭ) труб для прокладки наружных сетей получило широкое распространение в последние годы. При проектировании трубопроводов наружного водоснабжения важным этапом является правильный выбор труб. В статье описаны основные характеристики труб, дан алгоритм проведения гидравлического расчета, представлены рекомендации по выбору труб в зависимости от их характеристик.

Использование труб из полиэтилена для устройства трубопроводов наружного водоснабжения, канализации и технологических трубопроводов обусловлено рядом преимуществ, которыми ПЭ-трубы обладают по сравнению с трубами из традиционных материалов, а именно:

- коррозионная стойкость;
- срок службы не менее 50 лет*;
- санитарно-гигиеническая и экологическая безопасность;
- низкая шероховатость и практическое отсутствие зарастания труб;
- высокая стойкость к гидроабразивному износу;
- высокая химическая стойкость;
- устойчивость к гидравлическим ударам;
- устойчивость к воздействию блуждающих токов (не проводят ток);
- небольшой вес труб;
- легкость транспортирования;
- прочность сварных соединений, превосходящая прочность самих труб;
- высокая ремонтпригодность.

Типы напорных полиэтиленовых труб и выбор способа прокладки

Трубы для водоснабжения и канализации изготавливаются в соответствии с ГОСТ 18599–2001 [1]. Выпускаются следующие типы напорных труб из полиэтилена:

- однослойные трубы с защитной оболочкой и без нее;
- многослойные трубы.

Трубы с защитной оболочкой предназначены для траншейного и бестраншейного способов прокладки напорных сетей водоснабжения и водоотведения.

Пример возможного вида труб приведен на рис. 1, 2.

Трубы изготавливаются из ПЭ 100 и ПЭ 100 RC. ПЭ 100 RC – новый тип полиэтилена. Отличительной чертой полиэтилена ПЭ 100 RC является повышенная стойкость к распространению трещин по сравнению с обычным полиэтиленом ПЭ 100. При условии соблюдения правил монтажа и эксплуатации срок службы сетей из труб ПЭ 100 RC составляет 100 лет. В соответствии с классификацией труб из ПЭ100 RC РМД 40–20–2016 трубы с защитной оболочкой относятся к типу 3.

Наружные сети из полиэтиленовых труб рекомендуется прокладывать подземным способом, так как при надземной прокладке требуется защита трубопровода теплоизоляционными материалами для предотвращения замерзания транспортируемого вещества при отрицательных температурах воздуха и нагрева стенок труб при воздействии солнечной радиации и повышенных температур воздуха (табл. 1).

Полиэтиленовые трубопроводы также могут быть проложены:

- в зданиях (внутрицеховые или внутренние трубопроводы) на подвесках, опорах и кронштейнах;

* При использовании в сетях холодного водоснабжения и канализации в соответствии с ГОСТ 18599–2001.

- открыто или внутри борозд, шахт, строительных конструкций, в каналах, образованных, например, из гофрированных пластмассовых труб, скрыто;
- вне зданий (межцоховые или наружные трубопроводы) на эстакадах и опорах (в обогреваемых или необогреваемых коробах и галереях), в каналах (проходных или непроходных) и в грунте (бесканальная прокладка).

Понятия *MRS* и *SDR*, применяемые при подборе труб и расчете трубопроводов из полиэтилена

Полиэтилен, как и все термопласты, является вязкоупругим материалом, поведение которого в деформированном состоянии зависит от нагрузки, температуры и времени. Это означает, что закон Гука для него не применим и в соответствии с ГОСТ ИСО 12162 [2] и ISO 9080 [3] допустимая нагрузка на трубу при прочих равных условиях зависит от величины минимальной длительной прочности материала, обозначаемой как *MRS* (Minimum Required Strength). Минимальная длительная прочность – напряжение, полученное путем экстраполяции на срок службы 50 лет в результате испытаний труб на их стойкость к внутреннему гидростатическому давлению воды при ее температуре 20 °С. Напряжение, возникающее в стенке трубы, как известно, прямо пропорционально гидростатическому давлению и приведенному среднему радиусу трубы и обратно пропорционально толщине ее стенки. Поэтому при прочих равных условиях с увеличением толщины стенки трубы увеличивается и допустимое гидростатическое давление, которое в ней может быть создано.

Максимально допустимое рабочее давление в трубопроводе обозначается как *MOP* (Maximum

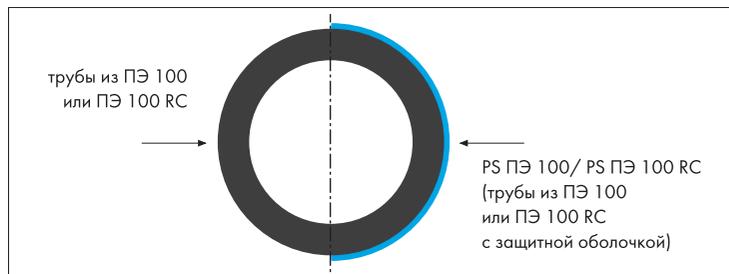


Рис. 1. Однослойные трубы из ПЭ 100 или ПЭ 100 RC с/без защитной оболочки

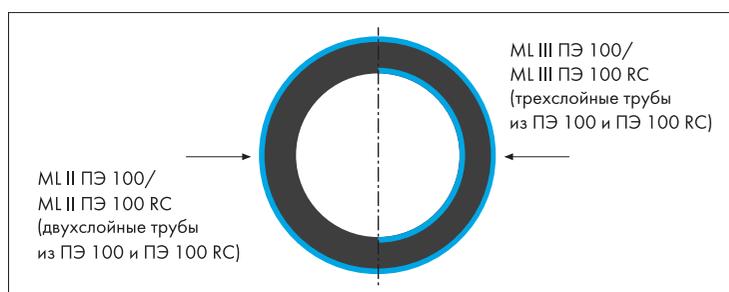


Рис. 2. Многослойные трубы из ПЭ 100 или ПЭ 100 RC

Allowable Operating Pressure) и определяется по формуле

$$MOP = \frac{2MRS}{C(SDR - 1)}, \quad (1)$$

где

C – коэффициент запаса прочности, принимаемый равным 1,25 для водопроводов из полиэтиленовых труб;

SDR – стандартное размерное соотношение, равное отношению номинального наружного диаметра трубы d_n к номинальной толщине стенки e , определяется по формуле

Таблица 1

Рекомендуемая область применения напорных труб

Тип трубы	Рекомендуемая область применения	Нормативный документ
Однослойная труба из ПЭ 100	Традиционный траншейный способ	ГОСТ 18599–2001 с изм. 1, 2, ТУ 22.21.01-017-50049230–2018 [2]
Однослойная труба из ПЭ 100 RC	Траншейный/бестраншейный способ прокладки с возможностью отказа от песчаного основания и засыпки	
Однослойная труба из ПЭ 100 или ПЭ 100RC с защитной оболочкой	Траншейный/бестраншейный способ прокладки с возможностью отказа от песчаного основания и засыпки с дополнительной защитой трубы от повреждения	
Двухслойная труба из ПЭ 100 из ПЭ 100 RC	Двухслойные трубы с размерно интегрированным защитным слоем от внешней точечной нагрузки для любых способов прокладки	
Трехслойная труба из ПЭ 100 и ПЭ 100 RC	Трехслойные трубы с размерно интегрированными защитными слоями для любых способов прокладки. Наружный защитный слой от внешней точечной нагрузки. Внутренний защитный слой придает стойкость к распространению трещин напряжения	

Таблица 2

Соотношение между типами, номинальным давлением и размерными характеристиками на примере труб из ПЭ 100

Труба из ПЭ 100 на давление P_N , кгс/см ²	SDR	Трубная серия S
4	41	20
5	33	16
6,3	26	12,5
8	21	10
9,5	17,6	8,3
10	17	8
12,5	13,6	6,5
16	11	5
20	9	4

$$SDR = \frac{d}{e} \quad (2)$$

Между SDR и номинальным рабочим давлением P_N труб существует зависимость, представленная в табл. 2.

Для маркировки труб вместо SDR иногда используется трубная серия S.

Выражение $SDR - 1$, входящее в формулу (1), характеризует трубную серию S

$$S = \frac{SDR - 1}{2} \quad (3)$$

Максимальное рабочее давление в трубопроводе, МПа

$$P = \frac{2\sigma e}{d - e} \quad (4)$$

где σ – допускаемое напряжение в стенке трубы, равное MRS/C, МПа.

Из (4) следует

$$\frac{\sigma}{P} = \frac{\frac{d}{e} - 1}{2} = \frac{SDR - 1}{2} = S \quad (5)$$

Зависимости (1) – (5) дают возможность рассчитать соотношение диаметра и толщины стенки трубы применительно к конкретным условиям объекта строительства. Окончательно выбор диаметра трубы производится на основании гидравлического расчета трубопровода.

Гидравлический расчет полиэтиленовых напорных трубопроводов

Гидравлический расчет трубопроводов выполняется с целью определения потерь напора потока,

на основании чего в дальнейшем выбираются диаметр труб и марка повысительного (или вакуумного) насоса.

Потери напора H , мм вод. ст., в общем случае течения жидкости равны

$$H = i \cdot l + h_{м.с.} + h_{в.} + h_{г.в.} + h_{св.н.} - h_{г'} \quad (6)$$

где i – удельная потеря напора на трение, м/м;
 $h_{м.с.}$ – потери напора в местных сопротивлениях, м;
 l – расчетная длина трубопровода, м;
 $h_{в.}$ – потери напора в водоизмерительных устройствах, м;
 $h_{г.в.}$ – геометрическая высота подъема воды (плюс или минус), м;
 $h_{г'}$ – гарантийный напор перед насосным оборудованием, м;
 $h_{св.н.}$ – свободный напор, необходимый для создания комфортной струи в водоразборной арматуре.

Удельная потеря напора i определяется по формуле

$$i = \frac{\lambda V^2}{2gd_p} \quad (7)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода;
 V – скорость течения жидкости, м/с;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 d_p – расчетный диаметр труб, м. Допускается определять как $d - 2e$ (наружный диаметр минус две толщины стенки).

Скорость течения жидкости равна

$$V = \frac{q}{w} \quad (8)$$

где

q – расчетный расход жидкости, м³/с;

$w = \pi d_p^2 / 4$ – площадь живого сечения трубы, м².

Коэффициент сопротивления трения λ определяется в соответствии с регламентами СП 40-102-2000 [4]

$$\sqrt{\lambda} = \frac{0,5 \left[\frac{b}{2} + \frac{1,312(2-b) \lg \frac{3,7d_p}{K_3}}{\lg Re - 1} \right]}{\lg \frac{3,7d_p}{K_3}}, \quad (9)$$

где

b – некоторое число подбора режимов течения жидкости. При $b > 2$ принимается $b = 2$.

$$b = 1 + \frac{\lg Re}{\lg Re_{кв}}, \quad (10)$$

где

Re – фактическое число Рейнольдса.

$$Re = \frac{v d_p}{\nu}, \quad (11)$$

где

ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м²/с. При расчетах холодных водопроводов принимается равным $1,31 \cdot 10^{-6}$ м²/с – вязкость воды при температуре +10 °С;

$Re_{кв}$ – число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной области гидравлических сопротивлений

$$Re_{кв} = \frac{500 d_p}{K_3}, \quad (12)$$

где

K_3 – гидравлическая шероховатость материала труб, м. Для труб из полимерных материалов принимается $K_3 = 0,00002$ м, если производитель труб не дает других значений шероховатости.

В случае течения, когда $Re > Re_{кв}$, расчетное значение параметра b становится равным 2 и формула (9) существенно упрощается, обращаясь в известную формулу Прандтля

$$\sqrt{\lambda} = \frac{0,5}{\lg \frac{3,7d_p}{K_3}}. \quad (13)$$

При $K_3 = 0,00002$ м квадратичная область сопротивлений наступает при скорости течения воды ($\nu = 1,31 \cdot 10^{-6}$ м²/с), равной 32,75 м/с, что практически недостижимо в коммунальных водопроводах.

Затраты электроэнергии на перекачку жидкости находятся в прямой пропорциональной зависимости от величины H (при прочих равных условиях). Подставив выражение (9) в формулу (8), нетрудно увидеть, что величина i (а следовательно, и H) обратно пропорциональна расчетному диаметру d_p в пятой степени

$$i = \frac{16\lambda q^2}{2g\pi^2 d_p^5}. \quad (14)$$

Выше показано, что величина d_p зависит от толщины стенки трубы e : чем тоньше стенка, тем выше d_g и тем, соответственно, меньше потери напора на трение и затраты электроэнергии.

Таким образом, результаты расчетов толщины стенки e трубы по формулам (1) – (5) в сочетании с результатами гидравлических расчетов по формулам (6) – (14) позволяют выбрать трубу с конкретным значением SDR и конкретным значением MRS . В зависимости от величины расчетного расхода жидкости на объекте и требуемого напора подбирается марка повысительного (вакуумного) насоса. Если в дальнейшем по каким-либо причинам меняется значение MRS трубы, ее диаметр и толщина стенки (SDR) должны быть пересчитаны.

Следует иметь в виду, что в ряде случаев применение труб с $MRS_{10,0}$ взамен труб с $MRS_{8,0}$ позволяет на один типоразмер уменьшить диаметр трубопровода. Например, применение компанией «ИКАПЛАСТ» полиэтилена ПЭ 100 ($MRS_{10,0}$) взамен полиэтилена ПЭ 80 ($MRS_{8,0}$) для изготовления труб позволяет уменьшить толщину стенки труб, их массу и материалоемкость.

Литература

1. ГОСТ 18599–2001 «Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия (с изменением № 1)». М., 2001.
2. ГОСТ ИСО 12162–2017 «Материалы термопластичные для напорных труб и соединительных деталей. Классификация и обозначение. Коэффициент запаса прочности». М., 2017.
3. ГОСТ Р 54866–2011 (ИСО 9080:2003) «Трубы из термопластичных материалов. Определение длительной гидростатической прочности на образцах труб методом экстраполяции». М., 2011.
4. СП 40-102–2000 «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования». М., 2000.

Статья подготовлена по материалам компании ООО «ИКАПЛАСТ».